سلسلة المائة كتاب

عالم الصدفة

تأليف: بول ديفيس

ترجمة: فؤاد الكاظمي

مراجعة: د. خالد ناجي




وزارة الثقافة والاعلام
دار الشؤون الثقافية العامة
بغداد ١٩٨٧



تصدر عن
دار الشؤون الثقافية العامة

رئيس مجلس الإدارة رئيس التحرير
الدكتور محسن جاسم الموسوي

تعنون كافة المراسلات
لرئيس مجلس ادارة دار الشؤون الثقافية العامة

العنوان
أعظمية - ص . ب ٤٠٣٢ تلكس ٢١٤١٣٥
العنوان البرقي فاق تلفون - ٤٤٣٦٠٤٤
بغداد - العراق

حسين اللموشي
الخميس 10.10.1991م
اليمن - صنعاء

The accidental universe

عالم الصدفة

تأليف: بول ديفيس

P.C.W DAVIES .

حسين يوسف اللموشي

ترجمة: فؤاد الكاظمي

مراجعة: د. خالد ناجي

الطبعة الاولى ١٩٨٧ .

صدر سنة ١٩٨٢ كتاب عالم الصدفة عن دار نشر جامعة كامبردج البريطانية لمؤلفه بول ديفيس استاذ علم الفيزياء النظرية في جامعة نيوكاستل البريطانية واعيد طبعه سنة ١٩٨٣ و ١٩٨٤ . يقع الكتاب في ١٣٩ صفحة وخمسة فصول .

وقد استعرض الناقد جون كربين J. Gribbin في النشرة الفيزيائية هذا الكتاب حيث قال :

هل ان عالمنا صُدفة من صدف الطبيعة ؟

يستعرض العالم التحليلي بول ديفيس المصادفات الغامضة الكامنة في هيكل وخواص العالم الذي نعيش فيه ، ويقدم في هذا الكتاب الموجه للقارىء غير الاخصائي ، تحليلا عميقا للنظرية المثيرة بأن هيكل عالمنا الطبيعي ، قد خطط ونظم بدقة متناهية لاظهاره بمظهره الحالي .

يقدم المؤلف استعراضا لمجموعة من الحوادث التي تبدو وكأنها معجزات ، والتي مكنت العالم من تطوير هياكله المعروفة ، الذرات النجوم ، مجرات النجوم ، وبالتالي الحياة نفسها . ويستعرض المؤلف مايدعي بالمبدأ الانثروبي The Anthropic Principle « مبدأ تطور الجنس البشري » ، الذي يفترض بان الحوادث الاعجازية هي مقدرة الحدوث في اي عالم يضم مراقبين مدركين واعين مثل الجنس البشري . ان هذه الاطروحة التي تدعي بتطور العالم نتيجة الاختيارات الكونيه والحياتيه مجتمعة ، سوف يطمئن القراء في نفس الوقت الذي قد تثير فيهم الغضب والنفور ، بأن وجودهم اصلا في هذا العالم قد يكون مرتبطا بالتنظيم الدقيق في قوانين الفيزياء .

يستعرض الفصل الاول المكونات الاساسية للطبيعة من اصغر المكونات المعروفة مثل الذرة الى المكونات الكبيرة مثل مجاميع النجوم ، ويحلل القوانين التي تحكمها والخواص التي تكتنفها والتي تتعامل مجتمعة لجعلها تتصرف بطرق منظمة جدا .

ويستعرض الفصل الثاني المقاييس في هياكل العالم ويحلل بعض الانظمة

الطبيعية للتعرف على المعايير ذات الحيوية القصوى بالنسبة لكيانها بهدف التوصل الى القيم الثابتة المستعملة في نظريات الفيزياء ، ويتضح بصورة ملفتة للنظر بان عددا قليلا من هذه العوامل كاف لاعطاء وصف متكامل تقريبا للطبيعة .

وكرس الفصل الثالث لشرح التوازن الدقيق جدا بين هياكل الطبيعة المختلفة ابتداءاً من اصغرها وهي الدقيقة الذرية المتعادلة Neutrino الى النواة والنجوم ومجموعة الكواكب ويحلل دور الثوابت في تنظيم واستمرار هذا التوازن الدقيق . ففي حالات متعددة اذا ماطرأ تغيير بسيط نسبيا على بعض قيم هذه الثوابت فسيخل ذلك بالتوازن الدقيق للعالم وبالتالي قد يهدد كيانه وحياة كائناته .

وخصص الفصل الرابع لدراسة الهيكل العام وتطور الكون والقاء الضوء على بعض المصادفات النادرة ، وخاصة في المراحل الاولية لتطور الكون ، ويحلل الترابط بين هذه المصادفات الاعجازية الكونية ، ومثيلاتها من المصادفات الاعجازية في العالم الطبيعي والتي مكنت بمجموعها تطور العالم الى العالم المتوازن الذي يمكن العيش فيه .

اما الفصل الخامس الاخير فقد خصص للمبدأ الحديث المثير للجدل بين علماء الفيزياء وعلماء تطور الجنس البشري والمسمى بالمبدأ الانثروبي-The Anthropic Principle والذي يفترض بان هيكل العالم الطبيعي لا يمكن فصله عن البشر الذين يعيشون عليه . وان للاحياء البشرية دورا في تطوير العالم . وان دورها لا يقتصر على مراقبة هذا التطور فقط . ان العلماء يعتقدون بان هناك قوة موجهة تعمل على تنظيم كوننا بدقة يصعب تصديقها ، الا ان هذه القوة ليست قوة فيزيائية مطلقة ، بل هي قوة متعلقة بمبدأ تطور الجنس البشري . وقد عبر بعض العلماء عن هذه الفكرة بالقول « بان وجودنا لا يحدد هيكل العالم فحسب بل ويختاره ايضا » او بعبارة صارخة هذا هو الانسان فماذا ينبغي ان يكون عليه العالم ؟

وقد بين المؤلف في المقدمة بان القيم العددية التي حددتها الطبيعة للثوابت الاساسية مثل الشحنة على الالكترون وكتلة البروتون ، والتعجيل النيوتروني ، قد

تبدو غامضة ، الا انها ذات علاقة وثيقة بالعالم الذي تدركه ، وبتطور ادراكنا وفهمنا للانظمة الفيزيائية من الذرة الى مجاميع النجوم ، بدأ العلماء يدركون بان العديد من خواص هذه الانظمة حساسة بصورة مثيرة للقيم الدقيقة للغاية للثوابت الاساسية . ولو كانت الطبيعة قد اختارت قيما تختلف قليلا عن القيم الحالية ، لكان العالم مختلفا جدا عن العالم الذي نعيش فيه الآن ولكان من المحتمل ان لا نكون نحن هنا لنراه .

ومما يثير الدهشة بصورة اكبر ان بعض الهياكل الحيوية جدا في عالمنا كالنجوم ذات الطراز الشمسي تعتمد في خواصها المميزة على سلسلة من الحوادث التي يندر حدوثها عفويا والتي تتكون بمجموعها من ثوابت اساسية لفروع متميزة جدا من الفيزياء .

وعندما يتقدم المرء لدراسة علم الكون وهيكله العام وتطوره فان الدهشة تتزايد لان الاكتشافات الحديثة في مضمار المراحل البدائية من تطور الكون تجبرنا على تقبل الفكرة القائلة بأن عالمنا الواسع قد وضع في مداره الحركي بتنسيق دقيق للغاية .

ان العديد من حوادث الطبيعة هذه كانت معروفة لعشرات السنين ، ففي عقد الثلاثينات من هذا القرن ، دهش العالمان ايدنكتون Eddington وديراك Dirac بالتكرار المحير وغير المتوقع لبعض الارقام العالية المستنبطة من الفيزياء الذرية وعلم الكون والتي تبدو لاول وهلة وكأنها مستنبطة من مواضيع غير مترابطة . ان هذه الامثلة وغيرها تولد الانطباع بان عالمنا متوازن بدقة متناهية بطرق عديدة .

ان المحاولة المنهجية الوحيدة (خارج الدين) لشرح المظهر المبتكر الاستثنائي لعالمنا قد تطورت عن طريق التحول الجذري عن التفكير العلمي التقليدي وان هذه المحاولة تدعى بالمبدأ الانثروبي « مبدأ تطور الجنس البشري » . وان فكرته تقوم على ربط الظواهر الاساسية للعالم باصل وجودنا فيه كمراقبين ، ولهذا المبدأ جذوره لدى بعض عظماء الفيزيائيين مثل بولزمان Boltzman واعيد تأكيده في السنوات الاخيرة من قبل عدد من العلماء المرموقين . وان بعضا منهم يذهب الى حد الادعاء بان

وجودنا يمكن ان يستعمل كمؤشر لاختيارات احيائية مما يتيح للمرء امكانية تفسير ظاهرة قيم الثوابت الأساسية الفيزيائية والتي تبدو غامضة بدون هذا الاستعمال .

ورغم ان بعض الكتاب قد اعترضوا على الاسس الفلسفية للمبدأ الانثروبي « مبدأ تطور الجنس البشري » فان من العسير ان لايتأثر المرء بسلسلة المصادفات المحظوظة التي كان وجودنا بدونها مستحيلا في هذا العالم .

مقدمة

بالرغم من التقدم المثير الذي حققه الفيزيائيون في السنوات الاخيرة في فهم القوى الاساسية في الطبيعة ، فان العديد من الخواص الاساسية لعالمنا تبدو اعتباطية وبدون معنى . لماذا توجد ثلاثة ابعاد في الفضاء ؟ لماذا تكون الجاذبية ضعيفة لهذا الحد ؟ ولماذا يكون البروتون اثقل من الالكترون بـ ١٨٣٦/ مرة ؟ وهكذا .

ان القيم العددية التي حددتها الطبيعة للثوابت الاساسية مثل الشحنة على الالكترون ، وكتلة البروتون ، وثابت التعجيل النيوتروني ، قد تكون غامضة ، الا انها ذات علاقة وثيقة بهيكل العالم الذي نفهمه ، وبتقدم فهمنا للانظمة الفيزيائية ، من نواة الذرة الى مجرات النجوم ، بدأ العلماء يدركون ان العديد من خواص هذه الانظمة حساس للغاية للقيم الدقيقة للثوابت الاساسية . ولو كانت الطبيعة قد اختارت مجموعة من القيم تختلف قليلا عن القيم الحالية لهذه الثوابت الاساسية لكان العالم مختلفا جدا عن العالم الذي نعيش فيه الآن ولكن من المحتمل ان لا نكون هنا لنراه .

ومما يحير اكثر ان هياكل حيوية معينة كالنجوم ذي الطراز الشمسي ، تعتمد في خواصها المميزة على حوادث رقمية يندر حدوثها ، والتي توحد معا ثوابت اساسية لفروع مميزة من الفيزياء . وعندما يتقدم المرء لدراسة علم الكون ـ الهيكل العام وتطور الكون ـ فان الدهشة تتزايد . ان الاكتشافات الحديثة حول الكون البدائي ، تجبرنا على تقبل الفكرة بأن الكون المتوسع قد وضع بمداره الحركي بتنسيق دقيق مذهل .

ان العديد من « حوادث الطبيعة » هذه كانت معروفة منذ عقود من السنين ، ففي الثلاثينات من هذا القرن ، دهش العالمان ايدنكتون وديراك Eddington & Dirac بالتكرار الغريب وغير المتوقع لبعض الارقام العالية جدا والمستنبطة من الفيزياء الذرية وعلم الكون ، مواضيع غير مترابطة ظاهريا ، ان هذه الامثلة وغيرها تعطي الانطباع بان الكون متوازن بدقة متناهية بطرق عديدة .

ان المحاولة المنهجية الوحيدة (خارج الدين) لشرح المظهر المبتكر والاستثنائي للعالم الطبيعي ، قد تطورت عن طريق التحول الجذري عن التفكير العلمي التقليدي .

تدعى هذه المحاولة بالمبدأ الانثروبي The Anthropic Principle (مبدأ تطور الجنس البشري) وتقوم فكرته على اساس ربط المعالم الاساس للعالم بوجودنا نحن كمراقبين . ولهذا المبدأ جذوره لدى فيزيائيين بارزين مثل بولزمان Boltzman واعيد تأكيده في السنين الاخيرة من قبل عدد من العلماء المرموقين ، بضمنهم براندون كارتر Brandon Carter روبرت ديك Robert Dick ، فريمان دايسون Freeman Dyson ، ستيفين هوكنك Stephen Hawkins ، مارتن رييس Martin Rees وجون ويلير John Wheeler .

ان بعضا من هؤلاء العلماء يذهب الى حد الادعاء بأن وجودنا يمكن ان يستعمل كتأثير انتقائي احيائي ، مما يتيح للمرء امكانية شرح القيم الرقمية للثوابت الفيزيائية الاساسية والتي تبقى غامضة بدون هذا الاستعمال .

وبالرغم من ان بعض الكتاب يجد بأن الاسس الفلسفية للمبدأ الانثروبي « مبدأ تطور الجنس البشري » غير مقبولة ، فان من الصعب ان لايتأثر المرء بالحوادث المحظوظة ، المدهشة والتي كان وجودنا بدونها مستحيلا . ان هذا الكتاب يستعرض بعضا من هذه الحوادث ـ والمصادفات الرقمية ، وفي الفصل الاخير فقط يثار موضوع المبدأ الانثروبي « مبدأ تطور الجنس البشري » .

وبالنظر لكون هذا التحليل موجه الى القارىء الاعتيادي ، فانه تحليل غير اختصاصي ، وسوف يروق للعلماء وعامة الناس من ذوي النزعة العلمية على حد سواء وسيجد طلبة الفلسفة والعلوم ان النص سهل التتبع في معظم فصوله ، وسوف يحتاجون الى معرفة عامة فقط بالفيزياء الاساسية .

ان الفصل الاول يختصر معظم الفيزياء الذي يحتاجها القارىء في الفصول اللاحقة . وان مستوى الكتاب هو بصورة عامة بمستوى مقالات مجلة الامريكي

العلمي Scientific American او العالم الجديد . وحيثما تستعمل الرياضيات ، فانها تتضمن غالبا الجبر الاولي فقط .

ان الكثير من التحليل المقدم هنا يتبع النهج لبعض الاستعراضات التقنية الممتازة التي سبق ان نشرت . وقد ادرجت مراجع لكل فصل بدلا من مقاطعة النص بالاشارات .

انني مدين بصورة خاصة الى الدكتور بيرنارد كار Dr. Bernard Carr والبروفيسور مارتن رييس Prof. Martin Rees ، حيث ان معظم هذا الكتاب مبني مقالتهما الاستعراضية .

ولقد استلمت تعليقات وافتراضات كثيرة نافعة من هذين المؤلفين وكذلك من الدكتور جون بارو Dr. John Barrow والدكتور فرانك تبيلر Dr. F. Tipler والدكتور جون ليسلي Dr. J. Leslie ولقد استفدت ايضا من مناقشات عديدة مفيدة مع منتسبي اقسام الفيزياء والفلسفة في جامعة كانتبري Canterbury نيوزيلنده New Zealand .

بي . سي . دبليو . ديفيس
P . C . W . Davies

Note on units and nomenclature

« ملاحظة حول الوحدات والمصطلحات »

ان العلاقة الرياضية الجديرة بالاهتمام في هذا الكتاب ، ليست معادلات تامة بل علاقات غير متساوية ، او علاقات متساوية بصورة تقريبية . ان العلامـة $\sim$ تستخدم بتكرار كبير وتعني بان الكميتين متساويتان لحدود 10^1 او نحو ذلك . فمثلا ان $7\times10^8 \sim 5\times10^9$. وعندما نستعمل $\sim$ امام علامة منفردة فانها تعني ضمن هذا المقدار . فعلى سبيل المثال $\sim 10^3$ تعني رقما مثل 630او 2018 اي انه تقريب الى اقرب قوة للعدد 10^3 . ان العلامات $>$ او $<$ تعني اكبر من واصغر من في حين ان العلامة $\gtrsim$ تعني اكبر من حوالي عدد محدد تقريبا ، مع معنى متناظر للعلامة $\lesssim$

وفي بعض الاحيان تستعمل العلامة $\simeq$. ان هذه العلامة تدل على التساوي المقرب وتستخدم عندما تكون كميتان متساويتان لحدود معامل اثنين او نحو ذلك . لذا فان $\pi^2 \simeq 10$. واخيرا فان العلامة $\equiv$ قد استعملت لتعني بانها معرفة بـ فمثلا $\alpha \equiv e^2/4\pi\varepsilon_0 hc$. ان القراء الذين يرغبون في اعادة احتساب التعابير لدرجة اعلى من الدقة سيجدون جـدولا بالقيم العـددية للثـوابت الاساس في الصفحـة (   ) ومجموعة مفيدة من المعلومات على الصفحة (   ) .

وقد استعملت الوحدات SI (النظام العـالمي System Internationale) في جميع نص الكتاب ، ويجب ان نلفت نظر القارىء ، الى ان معظم الاشارات التي ذكرت في فهرس المصادر قد استعملت اما وحدات c,g,s (السنتمتر ، الغرام ، الثانية) ـ خاصة فيما يتعلق بالاعمال الفلكية ـ او وحدات خاصة حيث اعتبرت ، كلا او بعضا من الثوابت h,c,G,K ، مساوية الى العدد واحد . وبما ان العرف في استعمال وحدات SI للشحنة الكهربائية في الفضـاء الحر ، يتـطلب ان تكون e^2 مقرونة مع $(4\pi\varepsilon_0)^{-1}$ حيث ان ε_0 هي سماحية (ثابت العازلية) للفضاء الحر ، فان المعامل 4π المتعلق بذلك سوف يؤخذ في سباق التعابير بصورة صريحة ، حتى عندما تكون بعض العوامل العددية وقوى قد استبعدت كجزء من التقريب ضمن المصطلح ~ اضافة الى ذلك وبالرغم من ان الاسلوب هو تقليدي ، فسوف لن تتاح لنا الفرصة للبحث في اوساط العازل الكهربائي ، لذا ، وبهـدف الاختصار فـان الصفر كرمز سفلي على ε سوف يحذف .



الفصل الاول

المكونات الاساسية للطبيعة

The fundamental ingredients of nature

المكونات الاساسية للطبيعة

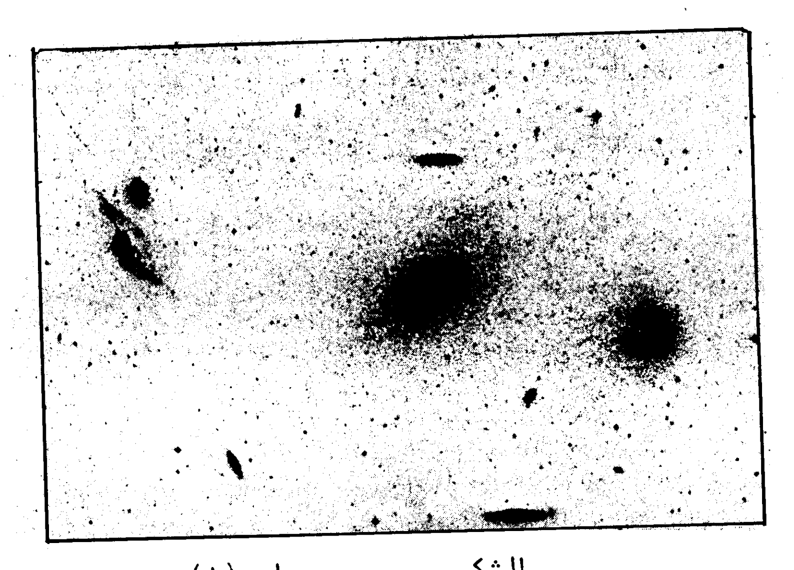
ان تنوع وتعقد الانظمة الطبيعية التي تزين كوننا ، هي محيرة لدرجة تبدو معها مهمة اكتشاف قوانين بسيطة لوصفها جميعا ميؤوسا منها ، ومع ذلك ورغم انه قد يبدو ملفتا للنظر ، فان المبادىء الاساس التي تتحكم في الاجسام المختلفة كالذرات والنجوم معلومة بقدر كاف يمكن معه اعطاء وصف متكامل لاغلبية الانظمة الاكثر شيوعا في العالم الطبيعي . ان قدرتنا على ايجاز اعمال الطبيعة ضمن اطار نظري واحد تنبع من حقيقة ان المعالم الاساسية الحقيقية للطبيعة بسيطة وشاملة معا ، فلنظريات مثل ميكانيكية الكم قوة تنبؤية هائلة لدرجة نستطيع ان تشرح بجرة قلم ظواهر مختلفة جدا ، كتشكيل البلورة وانهيار نجمة نيوترونية .

ستشكل ، عموميات الفيزياء الاساسية ، الخلفية للشرح المقدم في الفصول القادمة ، وسيكتشف القارىء انه برغم من ان التفاصيل الخاصة للانظمة الفيزيائية ، يمكن ان تحدد من خلال التحليلات المعقدة فقط ، فان السمات الهيكلية العامة يمكن تحديدها على الاغلب من بعض الاعتبارات الاولية . ان هذه الاعتبارات تظهر كوننا مليئا بالمفاجآت المذهلة .

(١ ـ ١) الهيكل لجميع المقاييس Structure on all scales

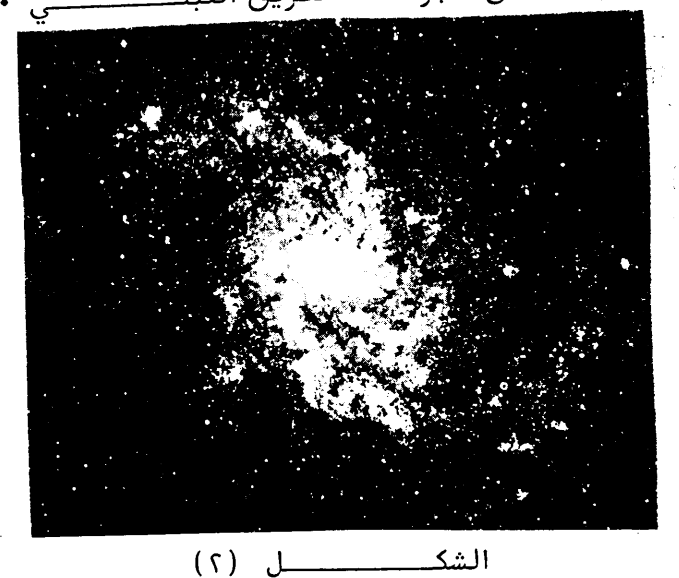
ان الطبيعة تظهر هيكلا متسلسلا ، فمن اصغر المكونات المعروفة للذرة الى تنظيمات المجرات ذات المقياس العالي ، فاننا نلاحظ انظمة متميزة في التنظيم والحجم . وان كل مستوى من الهيكل مترابط مع بقية المستويات في طريقة منتظمة جدا ، فما الذي يحدد معيار هذه الهياكل وعلاقتها مع بعضها البعض ؟ ولماذا تكون المجرات بهذا الكبر والذرات بهذا الصغر ؟ ولماذا تكون حرارة النجوم عالية لهذا الحد وسماء الليل بهذه الظلمة ؟

ان اكبر الهياكل المألوفة هو هيكل المجرة ومنها مجرتنا « الطريق اللبني » والتي تعتبر مجرة نموذجية فهي تحتوي حوالي 10^{11} نجمة وانها مشكلة على هيئة صحن ذي كرة مركزية من النجوم المتراصة بكثافة ، ان جميع تشكيلات النجوم مع الغيوم



الشكـــــــــــــل (١)

مجموعة مجرات "برج العذراء" وهي واحدة من أقـــرب المجموعات الى مجرتنا " الطريق اللبنــــــــــــي".



الشكـــــــــــل (٢)

مجرة حلزونية نموذجية في المجموعة الثلاثية. أن مجرتنا " الطريق اللبني " سوف تظهر بصورة مماثلة أذا نظرت عـن بعد.

وبعض حبيبات الغبار تدور ببطء ، ان النجوم غير موزعة بصورة منتظمة خلال المجرة بل انها تميل الى التركيز في اذرع ذات شكل لولبي . ان مجرة نموذجية تكون ذات قطر حوالي سنة ضوئية .

ان المجرات تميل نحو التجمع في الفضاء بمجاميع تتراوح بين بضعة عشرات الى عدة الاف ، ان هناك دليلاً مرصوداً جيداً ، بان الكون فيما وراء مقاييس هذه الهياكل ، هو منتظم بصورة ملحوظة من حيث طريقة توزيع المادة الكونية والاشعاع . ان هذا الانتظام هو بنوعين فهو منتظم من حيث الاتجاهات حولنا « متساوٍ في جميع الاتجاهات » ومن منطقة الى منطقة بعيدة عنا « متجانس » .

ان التشكيلة الكاملة لمجموعة المجرات هي ليست بالطبع في حالة السكون ، ان قوة الجاذبية تحاول دوما ان تضم المادة الكونية المتنافرة في مجاميع اكثر تراصاً ، لذلك فان جميع المادة الكونية مشتبكة بصراع بين الجاذبية وقوة الانتشار المعاكسة لها ، وبالنسبة للاجسام الصغيرة نسبيا مثل النجوم والكواكب السيارة فان الجاذبية قد غلبت هذا الصراع جزئيا ، ان كثافة المادة في هذه الاجسام هي حوالي 10^{30} مرة اكثر من معدل الكثافة للمادة الكونية .

ان الانظمة لأكبر المجرات ومجاميع المجرات ، قد تجنبت الانهيار بسبب دورانها ومدارها بعضها حول البعض الآخر . ان الانفجار الداخلي تتم معادلته بتأثير القوة المركزية الطاردة ، اضافة الى ذلك فان مجاميع المجرات تمنع من الالتحام مع بعضها بسبب حقيقة ان الكون بكامله هو بحالة نمط منسق من الانتشار ، ان كل مجموعة تبتعد بصورة تدريجية عن جيرانها من المجموعات . ان انتشار الكون المكتشف من قبل العالم ايدوين هبل E. Hubble في العشرينات من هذا القرن ، يعد حجر الزاوية في علم الكون الحديث ويمثل على افضل شكل بانه التضخم او التمدد المستمر للفضاء نفسه ، وبما ان الفضاء بين المجرات يتسع فان المجرات تزداد بعدا بعضها عن البعض الآخر .

وكما هوعليه الحال بالنسبة الى توزيع المادة الكونية ، فان هذا الانتشار

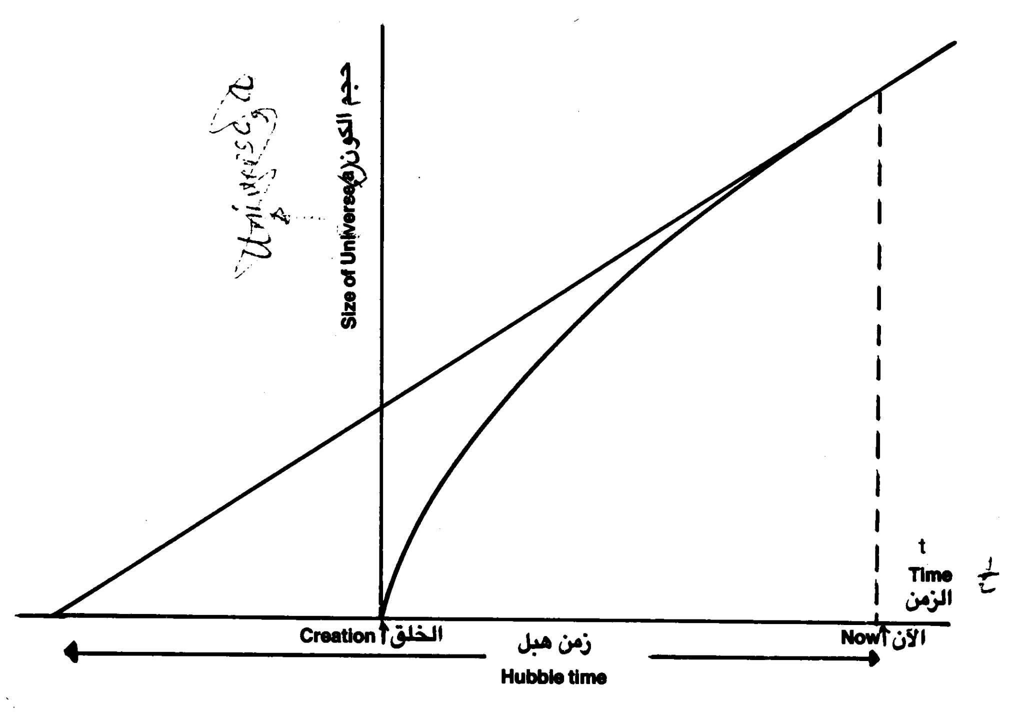
منتظم ، بصورة غير متوقعة ، خلال جميع الكون . وبما ان الكون على المقياس الكبير جدا منتظم جدا في ترتيبه فان التركيب الكوني بأكمله يمكن ان يميز بدالة واحدة وهي المعدل التي تتباعد بموجبه مجرتان نموذجيتان تبعدان عن بعضهما مسافة محددة . ان هذا المعدل يدعى بثابت هبل Hubble Constant ويرمز له بالحرف (H) وان قيمته غالبا ما تعطى من قبل الفلكيين بحوالي (٥٠) كيلو مترا في الثانية في كـل ميكا بارسيك والتي تعنى بان مجرتين على بعد 10, megaparsecs (حوالي ٣٠ مليون سنة ضوئية) مثلا تبتعدان عن بعضهما البعض بحوالي (٥٠٠) كيلو متر في الثانيـة . وبوحدات اكثر شيوعا $H \simeq 10^{-18} S^{-1}$.

واذا كانت المجرات تبتعد حاليا فان ذلك يعني بانها كانت اقرب الى بعضها البعض في الماضي . ان وحدات الثابت H هي سرعة/ مسافة والتي هي معكوس الزمن ، ان معكوس الثابت H يعطينا وحدة اساسية من الزمن تدعى زمن هبل Hub-ble Time والتي تمكننا من قياس التغيير الكوني . ان قيمة H^{-1} هي حوالي 10^{10} سنة والذي يشير الى انه قبل 10^{10} سنة فان هيكل الكون على المقياس الكبير كان مختلفا جدا عما هو عليه اليوم وان المجرات كانت محتشدة بصورة اكثر تقاربا .

وبما ان الكون ينتشر بصورة بطيئة ، فان قوى الجاذبية بين المجرات تعمل للحيلولة دون تنافر هذه المجرات ، لذلك فان المرء ليتوقع ان يتباطأ معدل انتشار H بصورة تدريجية تماما مثلما تتباطأ القذيفة المنطلقة الى الاعلى تباطؤا تدريجيا . وان هناك بالفعل بعض الدلائل المرصودة بان معدل الانتشار الكوني هو بحالة تناقص .

واذا قبل المرء بفكرة تباطؤ الكون ، يتبع ذلك انه قبل 10^{10}سنة كان معدل انتشار الكون اعلى بكثير مما هو عليه الآن ، واذا رجعنا الى الخلف في الزمن فان المرء يتوقع معدل تسارع للانتشار يمكن المجرات من التحرر من مصير الالتحام فيما بينها نتيجة لقوى الجاذبية بين هذه المجرات وبالاستقراء بالنسبة لاكبر حقبة زمنية سابقة ، يمكن للمرء القيام بها ، يبدو انه حوالي 10^{18} سنة قبل الآن كان الكون منكبسا بصورة شديدة غير محددة ، وفي حالة انتشار سريع بسرعة غير محـددة ، ان هذه المـرحلة

الكثيفة المتفجرة للكون هو ما يدعى عموما « الانفجار الكبير » "Big Bang" وبما انه حدث قبل زمن محدد فانه يعتبر عموما بداية الخلق الحقيقي للكون .



الشكل (٣)

الكون المنتشر . ان الفضاء في تضخم مستمر ولذلك فأن كثافة المادة هي في تناقص وان المجرات تجرف بعيدا بعضها عن البعض الاخر . ان المنحني يبين كيف ان قطر حجم كروي نموذجي من الفضاء يتنامى بمعدل متناقص . ان معدل الانتشار الحالي H والمعرف بـ $\dot{a}/a$ ، حيث ان a هو نصف قطر حجم كروي نموذجي من الفضاء . يحدد بالمماس المنحني في اللحظة المؤشرة الان (Now) . انها تعطي زمنا مميزا H^{-1} يدعى بزمن هبل Hubble Time وان هذا الزمن هو حوالي مرة ونصف المرة لعمر الكون .

ان الشكل رقم (٣) يوضح كيفية انتشار حجم نموذجي من الفضاء (سنة ضوئية مكعبة كما تقاس في يومنا هذا مثلا) من العدم منذ الانفجار الكبير ، لاحظ التباطؤ السريع لمعدل الانتشار في المراحل الاولى ، ويتبعه الانخفاض المطرد لهذا التباطؤ والمتوقع له الاستمرار في المستقبل . ان هذا التباطؤ المتناقص هو ناجم عن حقيقة ان الجاذبية تضعف مع التباعد ، وبما ان المجرات تصبح اكثر انتشارا فان تأثير قوى الجاذبية بين هذه المجرات على تحديد هذا الانتشار سوف يضعف . وبسبب التباطؤ السريع المبكر في معدل الانتشار فان زمن هبل Hubble Time هـو بصورة تقريبية مساو (ضمن حدود معامل (3/2)) لعمر الكون . نلاحظ لذلك ان الثابت H هو ليس ثابتا بالفعل بالرغم من تسميته بذلك .

وبالرغم من ان المجرات تبدو كجزء من المادة الكونية الساطعة محاطة بهالات واسعة من الفضاء فان الفضاءات بين المجرات ليست خالية تماما . ان هناك بلا شك مواد دقيقة داكنة او شفافة (منفذة) والاكثر اهمية من ذلك ان الفضاء بـاكمله ، وبضمنه الهالات الواسعة بين المجرات والتي تبدو ظاهريا وكأنها خالية ، هو مملوء بالاشعاع الحراري وان هذا الاشعاع يعم جميع الكون بوهج ضعيف نوعا ما . ان درجة الحرارة هي حوالي 3K ان هذا التجانس الشديد المتساوي في جميع الاتجاهات للاشعاع الحراري ذو الخلفية الكونية كما نستلمه على الارض يقدم دليلا جيدا للغاية على النطاق الواسع جدا لانتظام الكون ، لأن الاشعاع الحراري قد قطع مسافات كونية شاسعة بدون اعاقة ، اذ لو كانت هناك شواذ كونية على نطاق واسع لظهرت نتائجها على الاشعاع الحراري .

ان احد الامور الرئيسة المحيرة في علم الكونيات الحديث هو لماذا ان درجة حرارة الاشعاع الحراري هي 3K بدلا من قيمة اخرى . وفي الحقيقة ، بما ان الكون ينتشر فان الحرارة تنخفض ، الا ان النسبة لعـدد الفوتـونات الحـرارية الى عـدد البروتونات او الالكترونات مثلا في اي حجم واسع من الفضاء ، لا تتغير بسبب الانتشار الكوني (سوف يبين ذلك بالتفصيل في القسم 2.4) .

ان نسبة الفوتون/ البروتـون يرمـز لها بـالحرف S ولهـا قيمة حـوالي 10^9

وبالدلالة فان الفوتونات هي اكثر عددا بصورة كبيرة من الذرات .

واذا تحولنا الى مقاييس في الطول اصغر من المجرات فان المرء يميز اكثر الهياكل المألوفة في عالمنا وهي النجوم . ان النجوم تحافظ على حالة التوازن بسبب التعادل بين قوى الجاذبية الذاتية لهذه النجوم والتي تعمل على تقليصها وبين الضغط الداخلي المولد من الحرارة التي تديمها التفاعلات النووية داخل هذه النجوم . ان الكواكب السيارة الاصغر والابرد تتغلب على جاذبيتها الذاتية بواسطة قوى حالة الصلابة والتي هي في الاساس كهربائية الاصل . ان النجوم توجد في الغالب في مجاميع تصل الى مليون نجمة في كل مجموعة .

واذا اختصرنا المقاييس اكثر من ذلك فان المرء يواجه مخلوقات حية كبيرة (وبضمنها الانسان) تمثل الهياكل المتطورة للغاية من حيث التعقيد المعروف لحد الآن . واذا مررنا نزولا بالحجم بهذه المقاييس خلال الخلايا وسلاسل الجزيئات البايولوجية الفعالة مثل الحامض الخلوي الصبغي DNA فان المرء يصل الى مستوى الذرات والتي تعرف الآن بانها انظمة لها هياكل داخلية خاصة بها .

ان نواة الذرة تحوي نوعين من الجسيمات ، بروتونات مشحونة كهربائيا ، والنيوترونات وكليهما ذا كتلة حوالي 10^{-27} Kgm . وفي حالة الانعزال فان النيوترونات تنحل بمعدل عمر لايتجاوز بضعة دقائق الى بروتونات والكترونات . بالاضافة الى ذلك يطلق جسيم آخر يعرف باسم مضاد للنيوترينو (الجسيم المضاد للنيوترينو - انظر القسم 1.3) . ان النيوترنيوز متعادلة كهربائياً وتملك كتلة ، صغيرة او تكون عديمة الكتلة ، وتتفاعل بصورة ضعيفة جدا مع المادة الكونية الاعتيادية بحيث انها تمر بسهولة عبر الارض . لذا فان النيوترنيوز ذات طبيعة مضللة للغاية وان وجودها لم يؤكد بصورة مطلقة الا منذ الحرب العالمية الثانية . الا انه بالرغم من ذلك فانها تلعب دورا مهما في هيكل الكون .

ان البروتون هو حجر البناء الرئيس للهيكل النووي (انظر الشكل ٤) . ان العناصر الكيميائية تحدد بعدد البروتونات المحتواة في النواة ، ان نواة ابسط العناصر وهو الهيدروجين تتألف من بروتون واحد ، ان نواة احد نظائر الهيدروجين ويدعى

الديوتيريوم Deuterium ، تحتوي على نيوترون وبروتون ملتصقين معا . ان الشحنة النووية لهذا النظير هي نفس الشحنة للهيدروجين الا ان كتلة نواة هذا النظير هي ضعف كتلة نواة الهيدروجين تقريبا .

ان العنصر البسيط التالي هو الهيليوم ، والذي يحتوي في حالته الاعتيادية على اثنين من البروتونات واثنين من النيوترونات . واذا استمررنا في التصاعد فان الليثيوم له ثلاثة بروتونات والبريليوم اربعة وهكذا . ان العناصر المهمة ، هي الكاربون وله ستة بروتونات ، الاوكسجين وله ثمانية بروتونات والحديد له ٢٦ بروتونا واليورانيوم له ٩٢ بروتونا . ان العناصر الثقيلة مثل اليورانيوم تحوي اعتيـاديا عـلى عدد من النيوترونات يساوي مرة ونصف عدد البروتونات . ان العديد من هذه العناصر ذات فعالية شعاعية .

Elements heavier than uranium decay with an average life-times

ان العناصر الاثقل من اليورانيوم تنحل بمتوسط عمر يقل عن عمر الارض لذا فانها لا توجد بصورة وفيرة على الارض .

less than the age of the earth, so are not found in abundance on Earth

وبالنظر لكون البروتون جسيم في غاية الاهمية ، فان خواصه لها اهميته خاصة للفيزياء النووية (وبالتالي للفيزياء الذرية والكيميائية ايضا) . ان هذه الخـواص تشمل كتلته ، وشحنته الكهربائية وحجمه . ان حجم البروتون ذو مفهوم غامض نوعا ما وسوف يناقش في القسم 1.3 الا اننا في هذه المرحلة ، نأخذه بانه 10^{-15}m تقريبا . ان هذه المسافة يمكن ان تحول الى وحدة اساسية للزمن . وهي الفترة اللازمة للضوء لاجتياز البروتون ، ان سرعة الضوء هي اسرع معدلاً يمكن للمعلومات ان تنتقل به ، لذا فان لها اهمية خاصة . ان زمن اجتياز الضوء عبر البروتون هو 10^{-24}s وتعد هذه الفترة واقعيا اصغر فترة يتمكن البروتون خلالها ان يتصرف خلالهـا ، ككيان منفرد باي طريقة متكاملة .

لذلك فان لدينا الان مقياسـين طبيعيين للزمن : زمن هبـل Hubble Time $tH \sim 10^{10}$ سنة والزمن النووي الذي يرمز له tN وقيمته $tN \sim 10^{-24}$ ثانية وان نسبتهما هو العدد المدهش بكبره وهو 10^{41} . ان اصل هذا العدد وسبب كونه كبيرا لهذا الحد

سيكون موضوعا مهما في الفصول القادمة .

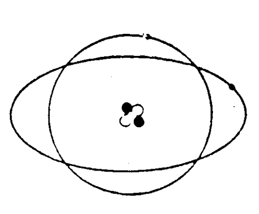
Normal hydrogen (^{1}H)
هيدروجين اعتيادي

One proton — بروتون واحد
one electron — الكترون واحد

Deuterium (^{2}H)
الديوتيريوم (نظير الهيدروجين)

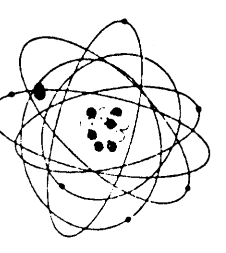
One proton — بروتون واحد
One neutron — نيوترون واحد
One electron — الكترون واحد

Helium (^{4}He)
الهيليوم



Two protons — بروتونين
Two neutrons — نيوترونين
Two electrons — الكترونين

Carbon (^{12}C)
الكاربون



Six protons — ستة بروتونات
Six neutrons — ستة نيوترونات
Six electrons — ستة الكترونات

الشكل (٤)

شرح على الشكل المقابل

العناصر الكيماوية Chemical elements

ان كيمياء الذرة تتحدد بالشحنة النووية (عدد البروتونات) والتي تكون في حالتها الاعتيادية متوازنة تماما بعدد الالكترونات . وعندما تفقد الذرة الكترونا فأنها توصف بأنها في حالة تآين . ان الالكترونات الخارجية تساعد على تكوين الاواصر التي تدمج الذرات معا في جزيئات . ان الذرات الثقيلة للغاية والمعقدة تحوي حوالي (٢٥٠) جسيماً نووياً وحوالي (٩٠) الكتروناً .

(١ ـ ٢) قوى الطبيعة The forces of nature

بقدر ما نعلم ، فان مختلف الظواهر الطبيعية تسيطر عليها اربعة قوى اساسية ، هي الجاذبية ، الكهرومغناطيسية وقوتان نوويتان تدعيان بالضعيفة والقوية . وفي السنوات الحديثة ، فان محاولات جرت لشرح هذه القوى في نظرية رياضية واحدة . ان هذا الذي سمي بالبرنامج التوحيدي قد وشج القوة النووية الضعيفة مع القوة الكهرومغناطيسية ، وفي المراحل الاحدث فأن بعض التقدم قد احرز في اشراك القوة النووية القوية ايضا (انظر الجدول رقم ١) . ان الجاذبية معروفة في حياتنا اليومية وانها تعمل عموما بين جميع الاجسام المادية في الكون . وانها لدرجة جيدة من التقريب (في حالات النجوم والكواكب السيارة) تتناقص مع المسافة بموجب قانون اسحق نيوتن المشهور بقانون التربيع العكسي .

لأي كتلتين متمثلتين في نقطتين مثاليتين ، فان كل كتلة تشعر نحو الاخرى قوة مقدارها

$$F_{grav} = -\frac{G m_1 m_2}{r^2} \qquad (1.1)$$

وفي هذه المعادلة فان العلامة السالبة تعني بان القوة هي قوة تجاذب وتعني r ، المسافة التي تفصل الجسمين (ان حجم الاجسام قد اعتبر صغيرا بالمقارنة مع المسافة بينهما) وان m2,m1 هما كتلتا الجسمين على التوالي . ان الثابت G هو ثابت عالمي وله دلالة مهمة . ان هذا الثابت ينظم قوى الجاذبية التي تبذل من قبل الكتلتين ، واذا اخذنا الكتلتين m1,m2 على اساس انهما كتل قياسية ، كغم واحد

مثلا ، وان المسافة التي تفصلهما r هي متر واحد فان قوة الجاذبية المرصودة هي 6.7×10^{-11} N واذا كان الثابت G اكبر فان هذه القوة سوف تكون اكبر بنفس النسبة . ان التأكيد بان الثابت G هو ثابت كوني هو الادعاء بانه في أي مكان من الكون وفي اية لحظة عبر التاريخ ، قد يكون المرء قد قاس عندها القوة بين كتلتين كل منهما كغم واحد على بعد متر واحد فان النتيجة ستكون دائما 6.7×10^{-11} N . لذلك فان هذه الكمية G يجب ان تدرج مع الكميات الاساسية الاخرى على كونها احد الثوابت المهمة للطبيعة والتي تحدد هيكل الانظمة المتجاذبة ، وفي هذا القرن فان نظرية نيوتون للجاذبية قد استبدلت بنظرية جديدة تدعى بالنظرية العامة للنسبية للعالم البرت آينشتاين Albert Einstein . وبالرغم من ان نتائج النسبية العامة تختلف نوعا ما عما هي عليه في نظرية نيوتون Newton في حالة مجالات الجاذبية القوية ، فان النظريتين تتطابقان عند حدود المجال الجاذبي الضعيف البعيد عن الاجسام المتجاذبة ، لذا فان قانون التربيع العكسي لنيوتون واهمية الثابت G تبقيان صحيحتين في نظرية آينشتين .

الا ان النظرية العامة للنسبية لها مزية واحدة فوق مزايا نظرية نيوتون ، اذ ان من الممكن ان ندرج قوة اضافية للجاذبية بجانب جاذبية التربيع العكسي الاعتيادي . ان قوة الجاذبية الاضافية هذه تتميز بميزتين غير اعتياديتين : الاولى انها متنافرة تعمل على دفع المادة الكونية بعيدا بعضها عن البعض الآخر ، بدلا من جذبها معا كما هو عليه الحال بالنسبة للجاذبية النيوتونيه ، وثانيا ان قوة التنافر هذه تتعاظم مع المسافة في حين ان الجاذبية الاعتيادية تتناقص مع المسافة بموجب المعادلة (١٠١) . لذا فان تأثيرات هذه القوة الاضافية تصبح مهمة فقط ضمن حدود المقاييس الكبيرة جدا ، ولهذا السبب فقد سمى آينشتين هذه المساهمة الجديدة بالمصطلح الكوني . وقد قدمها في الاصل بهدف شرح كيفية ان الكون باجمعه يتمكن تفادي الانهيار بعضه نحو البعض الاخر بسبب قوى الجاذبية المتبادلة بينها ، وسعى آينشتين من خلال ذلك بان يوازن بين قوى الجاذبية الاعتيادية التي تعمل على جذب

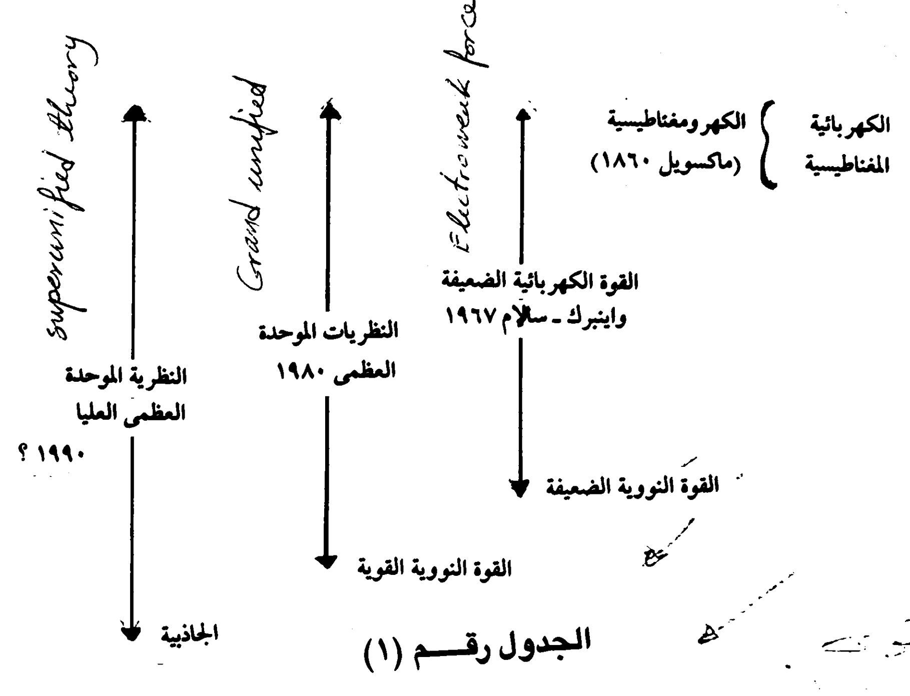
الاجسام نحو بعضها وبين التنافر الكوني الجديد بهدف التوصل الى كون ثابت .

وبعد ان تم تقديم المصطلح الكوني ضمن النظرية العامة للنسبية في عام ١٩١٧ ، اكتشف العالم هبل Hubble ، بان الكون هو ليس في حالة سكون باي حال بل انه في حالة انتشار . ان المجرات تتفادى الانهيار بعضها نحو البعض الآخر بسبب حركتها التباعدية . وعندما ادرك آينشتين ذلك ، اعتبر مصطلحه الكوني غلطة كبيرة وتخلى عن هذا المصطلح بصورة سريعة . وبالرغم من ذلك فليس هناك سبب مسبق لأن نحكم ببطلان هذا المصطلح الكوني ، وكما سنرى لاحقا فان نظرية المجال الكمي الحديثة تستوجب بالتأكيد وجود مثل هذا المصطلح . الا ان قوة التنافر لاتزال صغيرة بحيث يتعذر قياسها . واذا كتبنا القوة المتنافرة

$$F_{cosmic} = \Lambda r m c^2 \qquad (1.2)$$

$F_{cosmic} = \Lambda r m c^2$

حيث ان m هي كتلة الجسم المتنافر و r المسافة بين هذا الجسم والجسم المنافر ، c سرعة الضوء فعندئذ يكون «٨» ثابتا ذا وحدة قياس m^{-2} (لاحظ ان القوة لا تعتمد على كتلة الجسم المنافر) . ان الارصادات الحالية تضع الحدود العليا لهذا الثابت بحوالي $10^{-53}m^{-2}$. لذلك فان كتلتين ذات ١ كغم لكل منهما تقعان على بعد متر واحد تشعران بقوة جذب والتي هي على الاقل 10^{25} مرة اكبر من قوة التنافر الكونية ، ومن الناحية الاخرى ، فان مجرتين ، كتلة كل منهما 10^{41} Kgm مثلا وتبعدهما مسافة 10^6 سنة ضوئية (حوالي 10^{22} m) سوف تشعران بقوة جذب وتنافر متقاربة ،اذا كان الثابت «٨» في الحقيقة اقرب الى حده الاعلى . لذا وبالرغم من ان الثابت «٨» لم يتم قياسه ، فاننا سوف نأخذه على انه ثابت كوني ذو اهمية اساسية بالنسبة للهياكل ذات المقاييس الكبيرة للكون . وفي مرحلة لاحقة سوف يناقش بان الثابت «٨» هو ليس ثابتا بصورة مطلقة .



الجدول رقـــم (١)

ان التعمق الاشد يظهر بأن جميع القوى الطبيعه المختلفة هي في الحقيقة ظواهر لعدد صغير جدا (ولربما واحد فقط) من القوى الاساسية . ان جميع التفاعلات المعروفة يمكن ان تختصر في النهاية الى اربعة انواع اساسية الكهرومغناطيسية والجاذبية وقوتين نوويتين . ان الكهرومغناطيسيـة والقوة النـووية الضعيفـة ، برغم كـونهما مختلفتين ماديا في عملهما ، الا انهما في الحقيقة مجالان لقوة كهربائية ضعيفة موحدة منفردة . ان الاكتشافات الحديثة تشير الى ان القوة النووية القوية والتي هي ايضا مختلفة جدا في طبيعتها، يمكن ان تدمج في هذه الخطة ضمن النظرية الموحدة العظمى (GUT) وتبقى الجاذبية لوحدها الواجب دمجها في هذه الخطة .

واذا نظرنا الى الكهرومغناطيسية فان كلا من الكهربائية والمغناطيسية تدينان بوجودهما للشحنة الكهربائية . ان قوة التفاعل بين شحنتين كهربائيتين تعتمد بطريقة معقدة على موقعيهما وحركتيهما مع تأثيرات كهربائية ومغناطيسية متشابكة . الا ان هناك حالة مبسطة واحدة تحدث عندما تكون الشحنات في حالة سكون . واذا كانت

قيم الشحنات e1,e2 على التوالي ، وان كل شحنة مركزة في نقطة ، فان القوة المتبادلة بينهما هي قوة كهربائية صرفة في طبيعتها وتعين بواسطة معادلة مطابقة تقريبا للمعادلة (١٠١) وهي :

$$F_{elec} = \frac{e_1 e_2}{4\pi\varepsilon r^2}. \qquad (1.3)$$

وان القوة الكهربائية هي في مسار الخط الموصل بين الشحنتين وتكون متجاذبة او متنافرة طبقا لعلامة الشحنتين e1,e2 . ومرة اخرى فأن «ε» هو ثابت كوني يقرر قوة التأثيرات الكهرومغناطيسية . ان قيمته هي 8.85×10^{-12} Fm^{-1} لذا فان شحنتين ذات كولومب واحد لكل منهما ، توضعان في حالة سكون على بعد متر واحد عن بعضهما سوف تشهدان قوة مقدارها 8.99×10^{9} N .

ولقد وجد بأن الشحنة الكهربائية ترتبط دائما بجسيمات دون ذرية واكثر هذه الجسيمات المألوفة هما الالكترون والبروتون . ان القيمة العددية للشحنة على هذه الجسيمات هي نفسها دائما . وانها ثابت كوني للطبيعة وفي وحدات "SI" (النظام العالمي) فان قيمتها هي 1.6×10^{-19} C . وبالاصطلاح اعتبرت شحنة البروتـون موجبة ويرمز لها بالحرف e .

اما بالنسبة لما يتعلق بالقوى المغناطيسية فليس هنـاك اي دليل يـرتكز عـلى التجربة بوجود هذه القوى مثلما هو عليه الحال بالنسبة للشحنة الكهربائيـة ، ان القوى المغناطيسية تولد كلياً بواسطة التيارات الكهـربائيـة (شحنات كهـربائيـة متحركة) . الا انه بالرغم من ذلك فان بعض النظريات الحديثة للقوى الموحدة تتنبأ بوجود شحنة مغناطيسية ، ومع ذلك فانه ليس من الضروري ان نقدم وحدة اساسية جديدة . لأن العالم بول ديراك P. Dirac قد بين بأن كمية الشحنة المغناطيسية العالقة بأي جسيم لا يمكن ان تكون الا مضاعفات لوحدة اساسية تحـدد بصورة مـطلقة بالوحدة الاساسية للشحنة الكهـربائيـة "e" . لذا فـان الشحنة "e" تحـدد القوة الكهربائية وتحدد ايضا القوة المغناطيسية ، في حالة وجودها .

واذا التفتنا الى القوتين النوويتين واهتممنا بالقوة النووية الضعيفة اولا ، ان

هذه القوة مسؤولة عن العديد من التفاعلات النووية . وان واحدة من اكثر هذه التفاعلات المألوفة هي تحول النيوترونات الى بروتونات ، لذا فان القوة النووية الضعيفة تظهر نفسها من خلال التغيرات في خاصية الجسيمات بدلا من حركة هذه الجسيمات . وبالرغم من ذلك فان قوتها يمكن ان تميز بثابت كوني "gw" وهو الذي يحدد المعدل الذي يتم بموجبه عمليات التحويل المستحثة الضعيفة مثل عملية انحلال النيوترون .

ان القوة النووية القوية هي اكثر تعقيدا ، بصورة جلية من القوى الاخرى . وفي حالتها الاجمالية جدا فانها تكون مسؤولة عن تلاحم البروتونات والنيوترونات في نواة الذرة . وبدون هذه القوة فان نواة الذرة سوف تنفجر نتيجة للتنافر الكهربائي للبروتون . وفي هذه الحالة العامة من الممكن ان نقدم كمية "gs" مشابه للشحنة الكهربائية . الا انها اكبر منها بصورة جلية كما يستدل على ذلك من لفظة « القوية » في تسميتها الا ان مفهوم الكمية gs هو ذو فائدة محددة لسببين ، الاول ان القوة القوية لا تخضع لقانون التربيع العكسي كما ورد في (١-١) و(١-٣) وبدلا من ذلك فانها تتناقص بصورة سريعة الى الصفر خارج مدى فعال قدره 10^{-15} m وثانيا ان البروتونات والنيوترونات ، كما سوف ترى لاحقا ، هما اجسام مركبة لذا فانهما يكونان بحد ذاتهما مقيدين داخليا بواسطة قوة قوية جدا . ان القوى داخل البروتون والنيوترون هي في الحقيقة آثار مركبة لهذه القوة الداخلية ، وبسبب ان معرفتنا للهيكل الداخلي للبروتونات والنيوترونات لايزال اوليا وبدائيا ، فان مفهوم "g_s" الاقل جوهرا الا انه الابسط من المفاهيم الاخرى ، لـ "g_s" سوف يستعمل هنا كمقياس لشدة التفاعل القوي .

(١ - ٣) نظرية الكم والنسبية .Quantum Theory & Relativity

بالاضافة الى قوى الطبيعة فان هيكل عالمنا محدد بالقوانين التي تحكم كيف ان الاجسام تتحرك حول بعضها تحت تأثرات هذه القوى . وعلى مستوى ممارستنا

اليومية فان هذه القوانين تشرح بصورة وافية بواسطة ميكانيكيات العالم نيوتون Newton الا ان هناك ثلاث حالات تفشل عندها قوانين نيوتون .

اولا : اذا كانت حركة الاجسام المعنية تقترب من سرعة الضوء فان حركاتها سوف تكون منحرفة عن الحركات النيوترونية المتوقعة بسبب تأثيرات النسبية الخاصة ، ان سرعة الضوء التي يرمز لها بالحرف «C» تعتبر حدا مطلقا اعلى لسرعة كافة الانظمة المادية وسوف تأخذ سرعة الضوء «C» هذه ككمية كونية اساسية اخرى ذات اهمية بالغة في تحديد ترتيبات الكون .

ثانيا : اذا اصبح مجال الجاذبية شديدا فان على المرء ان لايترك جانبا قانون نيوتون للجاذبية فقط بل عليه ان يترك ايضا قوانين نيوتون للميكانيك . فاستنادا الى النظرية العامة للنسبية فأن الجاذبية هي ظاهرة لأنحراف الفضاءزمن شبيه بأنحناء سطح كالكرة مثلا ، وان اي جسم يتحرك ضمن هذه الخلفية المنحرفة سوف يتصرف بطريقة تختلف عن التنبؤات النيوتونية .

واخيرا عندما يكون حجم النظام المعني مقارنا بحجم الذرة فان قوانين نيوتون تفشل مرة اخرى وفي هذه الحالة نجد من الضروري ، استعمال نظرية الكم لشرح تصرف هذه الجسيمات الصغيرة جدا ومجالاتها .

ان الركيزة الاساس للنظرية الخاصة للنسبية ، هي ان سرعة الضوء هي نفس السرعة عندما تقاس من قبل جميع الراصدين بغض النظر عن طريقة حركتهم . لذا فان «C» هو ثابت كوني للطبيعة . ان هذه الحالة المتناقضة ، يمكن فهمها فقط ، بافتراض ان الفواصل الزمنية والفضائية ، هما ليستا غير قابلتين للتغيير بصورة منفصلة ، بل انهما تتغيران من هيكل دليلي الى هيكل دليلي اخر . والتي تقودنا الى التأثيرات المشهورة لانتشار الزمن وتقلص البعد الطولي .

وبسبب كون ان الضوء ينتقل دائما بسرعة «C» ، فمن الواضح ان من المستحيل لأي مراقب ان يصل (او يتعدى) سرعة الضوء . ان هذه السرعة تعمل وكأنها نوع من الحاجز لأنتقال اي جسم مادي او تأثير مهما كان نوعه . وان جميع

الاضطرابات الطبيعية محددة بأن تنتقل بسرعة الضوء «c» او اقل من ذلك . لهذا السبب فأن الميكانيكيات الاجسام التي تتحرك بسرعة كبيرة لها بعض الخواص الغريبة . وكمثال على ذلك فان الطاقة «E» والكتلة «Mo» (مقاسة بحالة السكون) لجسم يتحرك بسرعة «v» بالنسبة الى مراقب ما ترتبط بالمعادلة

$$E = m_0 c^2/\sqrt{(1 - v^2/c^2)}. \qquad (1.4)$$

وعندما تقترب « v » من سرعة الضوء «c» فان طاقة الجسم تصبح كبيرة بدون حد ، والتي تعني بأن من الضروري تزويده بطاقة غير محددة لتعجيل سرعته الى سرعة الضوء وفي الحالة المقابلة عندما تكون السرعة « v » تساوي صفرا اي ان الجسم في حالة سكون فان الطاقة لا تتلاشى بل ستكون

$$E_{rest} = m_0 c^2. \qquad (1.5)$$

ان هذه الطاقة السكونية تعود بصورة مطلقة الى كتلة الجسم mo وليس لاي تأثيرات للحركة . وفي بعض الاحيان يعبر عن ذلك بالقول بأن الطاقة والكتلة هما متكافئتان او ان الطاقة لها كتلة او ان الكتلة لها طاقة .

وكمثال لنأخذ الشمس ، والتي تشع ما يعادل 10^{26} Js^{-1} تقريبا . ان الطاقة المفقودة هذه تعادل كتلة قدرها ٤ ملايين طن ، لذا فان الشمس تصبح اقل وزنا بمقدار ٤ ملايين طن في كل ثانية .

واذا اخذنا مثالا اخر : ان نواة الاوكسجين تحتوي على ثمانية بروتونات وثمانية نيوترونات مقيدة معا بشدة . ان كتلة نواة الاوكسجين 2.655×10^{-26} Kg في حين ان كتلة ثمانية بروتونات منفردة مضافا لها كتلة ثمانية نيوترونات منفصلة هي 2.678×10^{-26} Kg وان النقص البالغ 2.3×10^{-28}Kg هو ناجم عن الطاقة المفقودة عند دمج الجسيمات النووية في منظومة مقيدة .

وفي بعض الاحيان تكتب المعادلة (١-٤) كما يلي :

$$E = mc^2, \qquad (1.6)$$

حيث ان $m = mo\,(1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ تدعى « بالكتلة النسبية ». وان قيمتها تعتمد

relativistic mass

rest mass

على السرعة « v » وعندئذ فان الكمية «mo» يشار لها بالكتلة السكونية بسبب انها هي قيمة الكتلة عند السكون (v = o) .

واذا انتقل اي جسيم بسرعة الضوء (وهذه هي الحالة بوضوح بالنسبة لحالة الفوتونات ـ انظر مايلي) فان المعادلة (١-٤) تشير الى انه اذا ما اريد للطاقة E ان تكون كمية محددة ، فان الكتلة السكونية m = o ، وفي تلك الحالة فان القسم الايمن من المعادلة يقرأ صفر على صفر والتي يمكن ان تكون كمية محددة . وفي الواقع ان طاقة جسيم الضوء تعتمد على ذبذبة الضوء وتعرف بالمعادلة (١-٧) ادناه . لذا فاذا كانت الكتلة السكونية للجسيم صفرا فانه ينتقل بسرعة الضوء وكثيرا ما يطلق الفيزيائيون على هذا الجسيم لفظة « عديم الكتلة » وان هذا الوصف يشير الى الكتلة السكونية لان مثل هذا الجسيم لايزال يمتلك كتلة نسبية قدرها $m = E/c^2$.

we now turn to a brief description of

والان ننتقل لاعطاء شرح مختصر لنظرية الكم (مبدأ ذرية الطاقة) Quantum Theory ان تأثيرات الكم تنطوي على تشويش لمفهوم الجسيم ، لدرجة ان الالكترون مثلا كثيرا ما يتصرف بطرق اقرب ارتباطا مع الموجة . لذا فان الالكتروثات تتمكن من الانعطاف حول الاشياء وتولد انماطا متداخلة وفي طرق اخرى يبدو ان تصرفها غير منتظم ، فان الالكترونات قد تحدث انفاقا عبر الحواجز او ان تقفز عن العوارض غير الرئيسة . وبصورة مماثلة فان مفهوم الموجة يمكن ان يعدل عند حدود الجسيمات متناهية الصغر ، بحيث ان الضوء مثلا والذي هو موجة كهرومغناطيسية يمكن ان ينبعث او يمتص او يتناثر بطريقة توحي بوجود جسيمات صغيرة او دقائق . وان هذه « الفوتونات » « او الكم الضوئي » كانت الرزم الصغيرة الاصلية او « الكمات » والتي اعطت النظرية اسمها .

ان المقياس الذي تكون عنده خواص الموجة / الجسيم المميز لتأثيرات الكم ، مهمة تحدد بثابت بلانك Planck Constant "h" وله قيمة 6.6×10^{-34}JS وفي اغلب الاحيان علينا ان نتعامل مع الكمية $h/2\pi$ والتي يرمز لها « $\hbar$ » وفي سياق تصرف الموجات مثل تصرف الجسيمات فان «$\hbar$» يستخرج كنسبة ، بين طاقة وذبذبة الفوتون

لذا فان

$$E = h\nu. \tag{1.7}$$

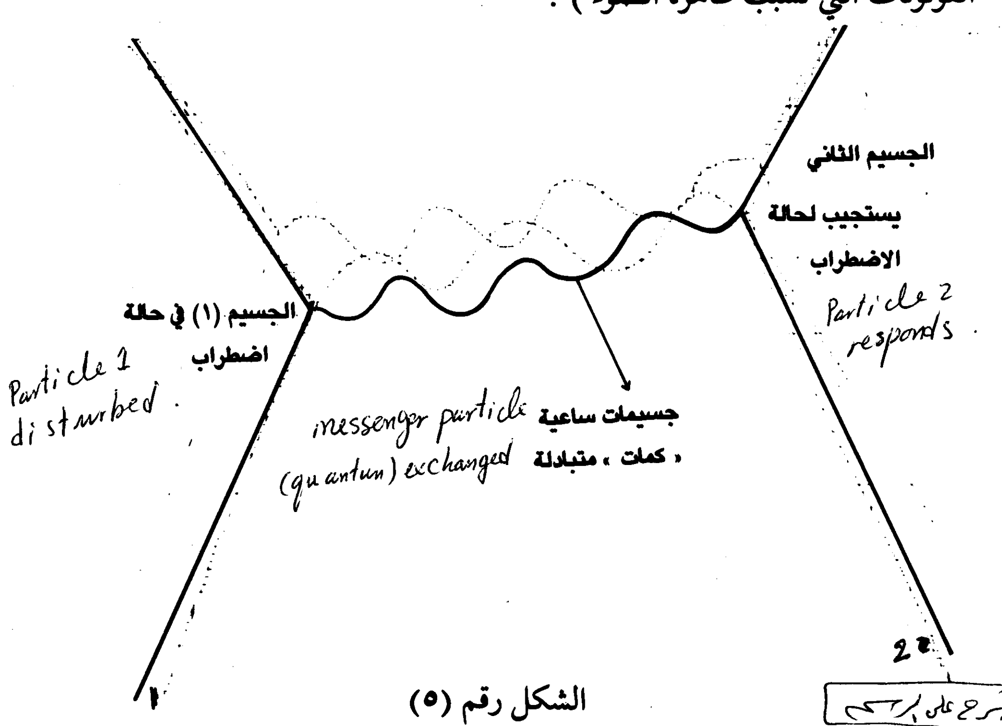
وفي سياق تصرف الجسيمات مثل تصرف الموجات فان «h» هو حاصل الزخم «P» وطول الموجة « λ » لذا فان

$$p = h/\lambda. \tag{1.8}$$

ان نظرية الكم يجب ان تؤخذ في الحسبان عندما تكون الكميات الميكانيكية ذات العلاقة مقاربة الى «h» فعلى سبيل المثال فان الالكترون في مداره داخل الذرة له طاقة حركية حوالي 10^{-19} J وان فترة مداره حوالي 10^{-15} S لذا فان حاصل ضرب الطاقة والزمن لفترة مدار واحد هي حوالي 10^{-34} Js اي انها مقاربة الى كمية الثابت «h» ونستنتج من ذلك بان تأثيرات الكم تعدل بصورة جذرية تصرفات الالكترونات الذرية وبالطبع فان ذلك صحيح .

وبسبب ان نظرية الكم عند تطبيقها على المجال الكهرومغناطيسي ، تولد شرحا لتحرك الطاقة والزخم خلال المجال على هيئة فوتونات غير منظورة فان هذا الاضطراب الكمي يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار في التفاعلات التي تؤثر فيها الشحنات الكهربائية والتيار الكهربائي كل على الاخر . وفي النظرية التقليدية للكهربائية الثابتة ، فان قانون التربيع العكسي (١ ـ ٣) يشرح بلغة المجال ، بالقول بان الشحنة «e» تولد مجالا كهربائيا ذا قوة حولها ، وان الشحنة « e2 » تتفاعل مع ذلك المجال على مسافة «r» منها . ان التفاعل المتبادل بين الشحنة «e2» والمجال هو الذي يولد القوة . واذا اضطربت الشحنة «e1» بطريقة ما فان تأثير ذلك سوف ينقل الى الشحنة «e2» من خلال المجال ، وان الشحنة «e2» سوف تستجيب وفقا لذلك . وفي نظرية الكم يعتبر الاضطراب بانه قد تم ايصاله خلال المجال بطريقة مماثلة غير ان عملية الايصال تكون على هيئة فوتونات . وعندما تحرك الشحنة «e1» فانها تطلق الفوتونات ، وان هذه الفوتونات سوف تمتص من قبل الشحنة « e2 » لاحقا وتؤدي الى تحريكها ايضا . لذا فان القوة الكهرومغناطيسية تفسر بمصطلح

« التبادل » « لكمات » المجال والتي تعمل مثل سعاة البريد بين المصادر . (ولاجل ان نوسع هذا الشرح الى القوة الكهربائية الثابتة نفسها ، مع غياب الاضطراب في الشحنة ، فان من الضروري ان نختلق نوعا اضافيا من الفوتون يختلف عن تلك الفوتونات التي تسبب ظاهرة الضوء) .



الشكل رقم (٥)

* الشرح الكمي للقوى . ان الطريقة الاساس التي يتم بموجبها انتقال القـوى بين جسيمات المصدر . تصور تخطيطياً في هذا الشكل . ان الخطوط المستقيمة تبين مسار الجسيمات ذات مصدر القوة وعندما يضطرب الجسيم (١) فأنه يطلق «كما» «يخلق وقتيا» او ما يسمى «كما» مفترضا في مجال القوة (على سبيل المثال اطلاق فوتون في المجال الالكترومغناطيسي) والذي يتم استيعابه لاحقا من قبل الجسيم الثـاني . ونتيجة لذلك يحصل اضطراب في الجسيم الثاني ، وبهذه الطريقة فأن الجسيمات يمكن ان تؤثر بعضها على البعض الاخر عن بعد ويمكن تطبيق شرح من هذا القبيل على جميع القوى الاساسية للطبيعة .

Intermediate field quanta has also been developed .

ان وصفا لقوى الطبيعة الاخرى بالاستناد على تبادل المجال الكمي الوسيط قد تم تطويره ايضا (انظر الشكل ٥) . فمثلا ان قوى الجاذبية يمكن ان تعزى الى تبادل الكرافيتون (ناقل الجاذبية) . وان القوة الضعيفة تنطوي على تبادل جسيمات تدعى البوزونات الوسيطة المتجهة « Intermediate Vector Bosons » وفي احدث نظرية للقوة الضعيفة فان كلا من جسيمات مشحونة كهربائيا وجسيمات متعادلـة والتي تدعيان بالجسيمات W,Z على التوالي هما ضروريتان . ان كلا الجسيمين W,Z هما ذات كـتـل كـبـيـرة (اكـبـر بـعـدة مـرات مـن الـبـروتـونـات)

ان القوة القوية والتي هي اكثر تعقيدا سوف تناقش بتفصيل اكبر في القسم القادم .

وعندما تندمج تأثيرات الكم والنسبية فان ظاهرة جديدة يمكن ان تحـدث : وهي خلق وتدمير الجسيمات دون الذرية . ان العلاقة $E = m_0c^2$ توحي بان جسيما ذو كتلة سكونية m_0 يمكن ان يخلق اذا امكن تجهيز الطاقة m_0c^2 بطريقة ما . وتم تأكيد ذلك عن طريق التجربة فعلى سبيل المثال ، ان الالكترون يمكن ان يخلق من فوتون نشيط جدا (اشعة كاما) ولاجل الحفاظ على الشحنة الكهـربائيـة فان من الضروري ان يكون الجسيم المخلوق حديثا مصحوبا بظهور جسيم معكوس ذي شحنة معاكسة (موجبة) . ان هذا الجسيم يدعى البوزيتـرون Positron وقد تم اكتشافه عام **١٩٣٢** وانه يمتلك نفس كتلة الالكترون وسوف نرمز من الان فصاعدا الى الالكترون بعلامة e^- والى البوزيترون بالعلامة e^+ .

وان جسيمات اخرى يمكن ان تخلق من الطاقة بطريقة مماثلة . ان البروتونات والنيترونات والتي يرمز لها بالرموز n,p على التوالي تظهر مصحوبة بجسيماتها ذات الصورة المعاكسة ويرمز لها بـ$\bar{n},\bar{p}$. ولقد وجد بان كل نوع من الجسيمات يمتلك جسيما معكوسا . ويرمز لهذا الجسيم « بمضاد الجسيم » فان $\bar{P}$ هو مضاد البروتون وان $\bar{n}$ هو مضاد النيوترون .

ان الجسيمات المضادة يطلق عليها من حيث ، اصل تكوينها ، بانها مضاد المادة . ان خلق الجسيمات ينطوي في العادة على الظهور الفوري لازواج الجسيمات ـ مضادات الجسيمات فعلى سبيل المثال ان e^+, e^- غالبا ما يطلق عليها بالخلق الزوجي وفي بعض الحالات (في حالة الفوتون مثلا) فان الجسيم لايمكن تمييزه عن مضاد الجسم ، وفي تلك الحالة فان هذه الجسيمات يمكن ان تخلق لوحدها .

ان الطاقة اللازمة للخلق الزوجي $2m_oc^2$ يمكن ان توفر بطرق مختلفة ، فمثلا ، الطاقة الحركية المتحررة نتيجة تصادم جسيمين اخرين ، الطاقة الحرارية ، الطاقة الكهرومغناطيسية الكامنة ، او الطاقة السكونية لجسيم اخر .

ان العملية المعاكسة للخلق الزوجي ، هي الافناء الزوجي وتحدث عندما يواجه جسيم ما جسيمه المضاد ، فعلى سبيل المثال ان الالكترون والبوزيترون في حالة تواجدهم عن قرب . سوف يفني احدهما الاخر ، وان الجسيمين سوف يتلاشيان مع انتاج اثنين او ثلاثة بروتونات فوتونات . وعندما تتحد تاثيرات الكم والنسبية بهذه الطريقة ، فلن يكون مدهشا ان تصبح العلاقتان (١-٦) و (١-٧) نافذتين في وقت واحد وان دمجهما سوف يولد العلاقة : (١-٦) و (١-٧)

$$c/v = h/mc. \qquad (1.9)$$

ولها وحدات للطول . واذا اخذنا m على اساس انها الكتلة السكونية للجسيم فان h/moc هو طول خاص لذلك الجسيم ويعرف بطول موجة كومبتون Compton Wavelength نسبة الى العالم آرثر كومبتون Arthur Compton . وبالنسبة للبروتون فان هذا الطول له قيمة حوالي 10^{-15}m .

وبالرغم من ان الخلق الدائمي لجسيم جديد ذي كتلة سكونية قدرها mo يحتاج الى توفير طاقة قدرها m_oc^2 فان مثل هذا الجسيم يمكن ان يخلق مؤقتا عند عدم توفر مصدر للطاقة . ان سبب ذلك يتعلق بمبدأ اللامحققية لهايسنبرك « Heisenberg Uncertainty Principle » والتي تتيح لقانون الحفاظ على الطاقة بان يعطل لفترة من

الزمن Δt وبكمية ΔE حيث ان

$$\Delta E \Delta t \sim h. \tag{1.10}$$

ويتبع ذلك ان الطاقة m_oc^2 يمكن ان تستعار لوقت ما $\Delta t \sim h/m_oc^2$ لاجل خلق جسيم مؤقت او كما يدعى « جسيم مفترض » وبالطبع فان هذا الجسيم المؤقت يتمتع بوجود عابر فقط ، قبل ان يتلاشى مرة اخرى ، لذا فان هذا الجسيم لايمكنه ان ينتقل بعيدا وحتى عند حركته بسرعة الضوء (الحد الاعلى للسرعة ، فان مداه هو $C \Delta t$ وهي الكمية في القسم الايمن للمعادلة (١-٩) لذا فان طول موجة كومبتون ذو اهمية لكونه يمثل اكبر مدى للجسيم المفترض .

وفي الشرح الكمي لانتقال القوى ، فان جسيمات على شكل سعاة يتم تبادلها بين الجسيمات ذات العلاقة (انظر الشكل ٥) . وبصورة عامة ، فان هذه الجسيمات هي جسيمات مفترضة ، لذا فان مداها سوف يقتصر على المدى في حدود وطول موجة كومبتون . وفي حالة القوى الكهرومغناطيسية فان الجسيمات المفترضة الساعية هي الفوتونات . ان الكتلة السكونية لهذه الفوتونات هي صفر . لذا فان طول موجة كومبتون الخاصة بها ، ومداها يكونان غير محددين . ولهذا السبب فان القوة الكهرومغناطيسية يمكن ان تعمل ضمن مسافات كبيرة يمكن رؤيتها عيانا .

وان نفس الشيء ينطبق ايضا على القوى الجاذبة (ان الكرافيتون (وحدة الجاذبية) هي عديمة الكتلة ايضا) . وعلى النقيض من ذلك فان الجسيمات Z,W للتفاعل الضعيف هي ذات كتل كبيرة لذا فان مدى التفاعل الضعيف هو قصير جدا (اقل من او يساوي $10\ m^{-15}$) ويقتصر على المسافات دون النووية . ان ملاحظات مماثلة يمكن تطبيقها بالنسبة للقوة القوية بين البروتونات والنيترونات :

في التفاعلات دون الذرية والتي تنطوي على اطلاق وامتصاص الفوتونات ، فان من الضروري ان نأخذ بعين الاعتبار تأثيرات نظرية الكم والكهرومغناطيسية معا . وان ذلك يعني بان تصرف هذه التفاعلات سوف تعتمد على الثوابت الثلاثة e,h,c جميعا .

ان سرعة الفوتونات «c» وثابت بلانك «h» والثابت الكهربائي «ε» عند ضربها معا تنتج كمية ذات وحدات [٢] (شحنة كهربائية) لذا يمكننا ان نوحد e,h,c لاعطاء نسبة ليس لها وحدات (اي رقم خالص) يرمز له ∝

$$\alpha \equiv e^2/4\pi\varepsilon\hbar c = 1/137.036. \qquad (1.11)$$

وان هذه الكمية تدخل في جميع العمليات التي تنطوي على التفاعل بين المادة والاشعاع فمثلا انها تحدد المعدل الذي يتم عنده فناء ذرة مثارة بطريقة اطلاق الفوتونات . او المعدل الذي سوف تكتسب به طاقة عندما تكون مغمورة في مجرى من الفوتونات .

وانها تحدد ايضا درجة تقسيم مستويات الطاقة الذرية الى مستويات مضاعفة نتيجة التواصل المغناطيسي بين الزخم المغناطيسي الذاتي الذي يحمله الالكترون من جهة ومجال المغناطيس المداري من جهة اخرى . ان هذا يدعى بالهيكل الدقيق وانه واضح من الخطوط الطيفية المنبعثة من الذرة المثارة . ولهذا السبب فان النسبة (١-١١) تدعى « بثابت الهيكل الدقيق » الا ان اهميته هي اكثر شمولا بصورة عامة مما يوحي عليه اسمه .

ان التفاعلات النووية الضعيفة والقوية تكون قصيرة المدى الى درجة بحيث انهما تعملان دوما ضمن المستوى الكمي . اما بالنسبة الى الكهرومغناطيسية فان ثوابت التواصل الضعيفة والقوية gs,gw يمكن ان تدمج مع الثوابت الاخرى لاعطاء نسبة ليس لها وحدات .

$$g_w m_p{}^2 c/\hbar^3 \simeq 10^{-5} \qquad (1.12)$$

$$g_s{}^2/\hbar c \simeq 15, \qquad (1.13)$$

حيث ان mp هي كتلة البروتون ان اهمية العلاقتين (١ -١٢) و (١-١٣) هي اقل جوهرا من اهمية ∝ في العلاقة (١-١١) .

واخيرا ، اذا رجعنا الى موضوع الجاذبية ، فان الكميات G,ħ,c يمكن ان تدمج لاعطاء وحدة اساسية للطول

$$l_P = (G\hbar/c^3)^{\frac{1}{2}} \simeq 10^{-35}\ \text{m}$$

او وحدة اساسية للزمن

$$t_P = (G\hbar/c^5)^{\frac{1}{2}} \simeq 10^{-43}\ \text{s}, \tag{1.14}$$

والتي تعرف على التوالي بطول بلانك Planck Leng th وزمن بلانك (Planck time) . واستنادا الى اسس عامة يمكن التوقع بانه عند هذه المقاييس للطول والزمن Lp وtp تكون تأثيرات الجاذبية الكمية متجلية بوضوح . وبالنظر لكون l p و tp هما حوالي 10^{20} مرة خارج نطاق مجال التجربة العملية ، فان هذا التوقع لا يمكن برهنته بصورة مباشرة .

ومن المثير ملاحظة ان ثابت بلانك للوقت tp يوفر لنا وحدة اساسية من الزمن للاخذ بنظر الاعتبار مع زمن عمر الكون tH والزمن النووي المميز tN وان نسبهما هي حوالي :

$$t_N/t_P \sim 10^{20}$$
$$t_H/t_N \sim 10^{40} \tag{1.15}$$

submuclear structure: a survey of fundamental particles

(١ ـ ٤) التركيب دون النووي ـ استعراض للجسيمات الاساس

بالرغم من الاهمية الاساس ، للبروتونات والنيوترونات لهيكل نواة الذرة ، فانها لايشكلان البنية الاولية جدا للمادة النووية . ان الدلائل الناجمة عن قذف الجسيمات النووية بالالكترونات ذات الطاقة العالية والقذائف الاخرى تشير الى ان ، البروتونات والنيوترونات هما في الحقيقة جسيمات مركبة . وبالرغم من ان الهيكل الداخلي لهذه الجسيمات ، لايزال مفهوما جزئيا لحد الان ، فان صورة متناسقة لهياكلها بدأت في الظهور .

ويتضح ان كل بروتون هو اتحاد لثلاث جسيمات اصغر تدعى الكوارك Quark وان البروتون يحتوي على نوعين مميزين (او نكهتين flavours) من الكوارك . اثنين منها تدعيان بالكوارك « العلوي up » او كوارك «U» وكل منهما ذو شحنة كهربائية 2/3 e وكوارك « سفلي » او كوارك «d» ذو شحنة 1/3 e — . ان لفظات «العلوي» و

down

«السفلي» هما مصطلحات مجردة وليس لها اية علاقة بالاتجاهات العمودية (وان هذه الملاحظة تنطبق ايضا على مصطلحات الكوارك الاخرى فيما يلي) . ان النيوترون هو اتحاد لعدد واحد من الكوارك «u» واثنين من الكوارك «d» . وعندما ينحل النيترون الى بروتون فان احد «d» كوارك يتغير الى نوعية «u» كوارك ويخلق الكترون يحمل وحدة واحدة من الشحنة السالبة . لذا فان القوة النووية الضعيفة قابلة على تغير نوعية الكوارك .

ان كتل الكواركات غير معلومة بالفعل . الا ان من المرجح أن تكون اكبر بكثير من 1/3 كتلة البروتون . ان ذلك ناجم بسبب ان الكواركات مترابطة بصورة قوية جدا لذا فانها تتخلى عن جزء كبير من كتلتها على شكل طاقة ترابط (انظر الصفحة ١٨) .

ان طبيعة القوى ما بين الكواركات غير مفهومة جيدا لحد الان . ان القوة التي تلصق الكواركات معا قوية جدا ، ويبدو واضحاً الان بان القوة النووية القوية والتي بدورها تربط النيوترونات والبروتونات معا في النواة ما هي في الحقيقة الا اثر واضح من هذه القوة اللاصقة الداخلية الاقوى بكثير واستنادا الى مفاهيم نظرية المجال الكمي فان القوة ما بين الكواركات ينظر لها بانها ناجمة عن تبادل نوع اخر من الكمات المجالية او الجسيمات والتي يطلق عليها اعتياديا لفظة الگلون gluons وفي النظرية المفضلة للقوة اللاصقة والتي تدعى « الخصائص الديناميكية للكم Quantum Chromodynamics » فان هناك ثمانية انواع من الگلونات gluons وبالرغم من انها عديمة الوزن فان القوة ما بين الكواركات هي قصيرة الاجل ان السبب في ذلك هو ان الگلون يجذب بعضها البعض الاخر بنفس القوة القوية التي تجذب بها الكواركات . وان هذا على نقيض الفوتون الذي يكون عديم الشحنة الكهربائية . والذي يعمل مجرد وسيط حامل للقوة الكهرومغناطيسية بين الجسيمات المشحونة .

ان معظم علماء فيزياء الجسيمات يعتقدون بان القوة ما بين الكواركات تزداد في الحقيقة مع المسافة بين كل كوارك . واذا كان ذلك صحيحا فان من المستحيل ان

نفصل تكوينا من الكواركات عن بعضه البعض . وانه من غير الممكن على الاطلاق تواجد الكوارك المنفردة . وانه من غير الممكن على سبيل المثال . تهشيم البروتون الى مكوناته الثلاث . ان هذا التوقع قد تم تأكيده بواسطة تجارب الاصدامات ذات الطاقة العالية والتي لم تنجح مطلقا في تهشيم البروتون الى مكوناته .

الا انه ، ليس من الضروري ان تتحد ثلاثة كواركات . ان اتحاد زوج من الكواركات يمكن الحدوث . وان احد اتحادات الكواركات الزوجية هذه هي $u\bar{d}$ اي كوارك u متحد مع الجسيم العكسي المضاد للكوارك d . ان هذا الاتحاد له شحنة مجموعها e + الا انها اخف وزنا نوعا ما عن البروتون بسبب نقصانها للكوارك الثالث . ان الكوارك الزوجي $u\bar{d}$ يمكن انتاجه في المختبر وقد كان معروفا لاكثر من ثلاثين سنة بما يدعى الباي ميسون Pi Meson او البايون Pion ويرمز له π^+ . ان مضاد الجسيم π^+ هو الزوج $\bar{u}d$ ويرمز له بـ π^- وان هناك ايضا بيون Pion متعادل π° الذي يمكن اعتباره كاتحاد بين $u,\bar{u}$ او $d,\bar{d}$.

ان π° غير مستقر جدا ، لان الكوارك قد يفني نظيره مضاد الكوارك . ويعد معدل عمر حوالي $10^{-16}S$ فانه ينحل الى اثنين من الفوتونات .

$$\pi^0 \rightarrow 2\gamma.$$

ان البيونات المشحونة هي اكثر استقرار لان مضاد الكواركات هي ليست من نفس نوعية الكواركات لذا لايمكنها فناء بعضها الاخر بصورة مباشرة ، الا ان القوة النووية الضعيفة يمكنها ان تغير نوعية الكواركات وتسبب بذلك تحطيم البيونات المشحونة . وبما ان القوة هي بهذا الضعف . فان الانحلال يأخذ زمنا اطول بكثير (حوالي 10^{-8} S) .

ان الناتج النهائي لانحلال البيون هو ظهور ميسون اخر Meson ولكنه ليس من النوع المتكون من الكواركات ، ويطلق عليه لفظة «mu» ميسون او الميون Muon ويرمز له μ .

وبالنظر لانه عديم الكوارك فانه لايتأثر بالقوة النووية القوية . انه يتأثر بالقوة

الضعيفة (والتي هو المسؤولة عن خلقه) وهو ايضا مشحون كهربائيا . ان ظهور μ يصحبه ظهور نوع جديد من النيوتريتو يدعى بالميون - نيوترينو ويرمز له μ v .

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$
$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu.$$

وليس هنـاك ميون متعـادل . ولاجل التمييـز بين النيـوترينـو للميـون عن النيوتريتوز الناتجة من انحلال النيوترون فان الاخيرة تدعى نيوترينوز الكترونية ويرمز لها v e .

واذا تركنا الميسون جانبا لبعض الوقت ، فان اثنين من الكواركات المتفاعلة بقـوة d,u وعدد اثنـين من الجسيمات المتفـاعلة بضعف e , v e (بالاضـافة الى مضادات هذه الجسيمات الاربعة) هي كافية لان تعلل كل المادة الاعتيادية . ومع الكلونات gluons الفوتونات ، الكرافنيتونات . Ws,Zs (الجسيمات السـاعية او المتبادلة التي تعمل كوسيط لنقل القوى الرئيسية الاربع) ، فان جميع المعالم الاساس للتفاعلات بين الجسيمات يمكن شرحها . ولو حدث ان كانت هذه الجسيمات هي كل الوحدات الاساس الموجودة ، فان هيكل عالمنا لربما سيتغير قليلا جدا ، عن هيكل العالم الذي نلاحظه .

ان الاتحـاد الثلاثي للكـواركات يكـون الجسيمات الثقيلة (النيـوتـرون او البروتون p,n) والتي تعرف بالباريون baryons ان الالكترون والفوتون الالكتروني e,e v هما اخف كثيرا ويعرفان باللبتون lepton ان اثنين من الباريونات واثنين من الليبتونات كافية لبناء عالم مادي مماثل بصورة كبيرة للعالم الموجود .

ويبدو ان الطبيعة ، ولسبب غريب ، قد انتجت وفرة كبيرة من الهياكل المادية لان انظمة ازواج الباريون / ازواج الليبتون توجد مكررة مرتين على الاقل . وفي حالات الطاقات العلياحيث تكـون هناك طـاقة متـوفرة اكبـر لخلق كتلة سكونيـة اعظم ، فان نوعين جديدين ثقيلين من الكوارك تظهر . ان نوعيتهما يشار لهما بغرابة بلفظتي الغامض والساحر ويرمز لهما c,s على التوالي . وانهما يتحدان معا على شكل

ثلاثي لانتاج باريونات اضافية اثقل من البروتون والنيوترون ويتحدان بشكل ثنائي لانتاج ميسونات ثقيلة .

فعلى سبيل المثال ان الباريونات الغامضة والتي تحوي على عدد واحد على الاقل من الكوارك الغامض ويرمز لها Σ ، Λ ، Ξ ، Ω وجميعها غير مستقرة وتنحل بالمعدل في زمن اقل من 10^{-8} S الى جسيمات غير غامضة . ان اول جسيم ساحر تم اكتشافه Ψ له كتلة اكثر من كتل ثلاثة بروتونات ويتكون من زوج cc انه ينحل في زمن قدره حوالي 10^{-20}S الى بايونات وجسيمات اخرى . ان التي تتمكن من الازدواج مع الكوارك الغامض والكوارك الساحر هي الميونات ، والتي تعتبر بمثابة الاخ الكبير للالكترون والنيوترينو العائد الى الميون .

ولايزال هناك مستوى اخر يجري اكتشافه عند الطاقات الاعلى ، ان نوعين اخرين من الكواركات الاعلى والاسفل يمكن تمييزهما ، وان ليبتون ثقيل جديد tau (ويرمز له τ) هو معلوم الان . وله كتلة حوالي 3500 مرة كتلة الالكترون . ويفترض ان الليبتون الجديد τ له نيوترينو خاص به ν_τ لاجل الازدواج معه . ان عدد الاتحادات الناجمة عن اثنين او ثلاثة كواركات والكواركات المضادة لها والمأخوذة من ستة نوعيات من الكواركات تبلغ العشرات ، لذا فان عالم المواد دون النووية يشبه حديقة حيوانات لمختلف اصناف الجسيمات .

ان وفرة الكواركات والليبتونات تتعاظم عند الاخذ بنظر الاعتبار قوة التفاعل بين الكواركات . ان النظرية المفضلة والتي تنطوي على ثمانية نوعيات من الكلونات gluons تتطلب مالا يقل عن ثلاثة انواع مختلفة من الشحنة القوية لاجل ازدواج الكلونات glunos والكواركات Quarks معا ، تماما كما تربط الشحنة الكهربائية الالكترونات والفوتونات ان الشحنة القوية تدعى (بسبب عدم وجود اسم افضل) باللون . لذا فان الكواركات الستة المعروفة تظهر بثلاثة الوان مختلفة ، مما ينتج عنها ١٨ نوعا من الكواركات . اما الليبتونات وبسبب كونها غير متفاعلة مع بعضها

	Quarks			Leptons	
	Flavour		Charge	Flavour	Charge
I	Up	u	$+\frac{2}{3}$	Electron, e	-1
	Down	d	$-\frac{1}{3}$	Electron-neutrino, ν_e	0
II	Charmed	c	$+\frac{2}{3}$	Muon, μ	-1
	Strange	s	$-\frac{1}{3}$	Muon-neutrino, ν_μ	0
III	Top	t	$+\frac{2}{3}$	Tau, τ	-1
	Bottom	b	$-\frac{1}{3}$	Tau-neutrino, ν_τ	0
	?		?	?	?

the elementary particles

الجدول رقم (٢) الجسيمات الاولية

All ordinary matter

ان جميع المواد الاعتيادية مبنية من اربعة جسيمات اولية فقط مع الجسيمات المضادة المتناظرة معها وهي غير مبينة (المستوى الاول) . ان كل نوعية (نكهة) من الكوارك تظهر بثلاثة الوان . ولسبب ما فان الطبيعة كررت هذا النظام مرتين على الاقل (المستويات) ان الليبتونات تتفاعل بعضها مع البعض الاخر بصورة ضعيفة فقط ، وتبقى اعتيادياً بصورة منعزلة الا ان الكواركات تخضع الى قـوة الكلونات القوية لذا فإنها تظهر دائما متحدة معا بمجموعات اثنين او ثلاثة . ان هذه التجمعات تشكل انواعا هائلة من الجسيمـات دون النوويـة البروتـونات ، النيـوترونـات ، الميسونات ، s Σ . s ψ وغيرها .

ان النوعيات المشكلة من محتويات المستويات ٢ ، ٣ ، هي غير مستقرة للغاية وتنحل بصورة سريعة الى الجسيمات في المستوى (١) وذلك هو صحيح بالنسبة الى الليبتونات ايضا .

لم يحتو المخطط الفوتونات ، الكرافيتونات والكلونات والبوسونات المتجهـة والتي تشكل الجسيمات الساعية التي تنقل القوى بين الكواركات والليبتونات . ان الشحنة تقاس بوحدات الشحنة الكهربائية على البروتون .

البعض بقوة فانها عديمة « اللون » (اي عدم وجود شحنة قويـة فيما بينهـا) . ان الجسيمات المتكونة من الكواركات (اي جميع الباريونات والميسونات) خاضعة للقوة النووية القوية وتعرف مجتمعا بالهادرونز Hadrons .

وعند تقصيهم المستمر من اجل البساطة في قلب التعقيد المتشابك فان بعض الفيزيائيين قد اصيبوا بخيبة الامل لعدد اصناف الكواركات المعروفة وتقسيم المواد الى هادرونز وليبتون . وقد اقترحو بان الكواركات نفسها قد تكون هي مركبات من وحدات اصغر (ما قبل الكوارك) ولربما ان الليبتونات مكونة من هذه الوحدات ما قبل الكوارك «ايضا» . ولربما ان هذا التسلسل من الهيكل داخل الهيكل لانهاية له اي انه لاتوجد في الحقيقة جسيمات اولية على الاطلاق .

ان صـورة ابسط وهي التي سوف تستخـدمها هنـا ، هي ان الكـواركـات والليبتونات هما كتل البنية الاساس لجميع المواد . وانهما كيانات بدون هياكل وليس لهما اجزاء داخلية ، على الاقل الى الحد الذي ينسجم مع الجاذبية الكميـة (انظر القسم ٢ . ٢) . ان من المحتمل اكتشاف انواع جديدة من الكواركات في المستقبل وبالرغم من ان ذلك سوف يشكل ازدواجا اخر ، غير محبب . ان هذه التفاصيل مختصرة في الجدول رقم (٢) .

(١ ـ ٥) ملخص لتاريخ الكون

ان معظم علم الكون الحديث مبني على مفهوم ان اصل الكون قد حـدث نتيجة للانفجار الكبير « Big Bang » كما تم بيانـه في القسم (١ ـ ١) . ان معدل انتشار الكون الحالي يوحي بان خلق الكون قد حدث في وقت ما قبل ٢٠ ـ ١٥ بليون سنة ، وان هذا التقدير لعمر الكون قد تم تأكيده بواسطة اساليب مستقلة لمعرفة تاريخ اقدم النجوم .

وبانتشار الكون ، فان الاشعاع الكهرومغناطيسي المبث خلال الفضاء ، سوف يتمدد محدثا بذلك زيادة طول الموجة λ ونقصانا في الذبذبة ν. ان هذا التأثير يبدو ظاهرا على سبيل المثال في انحراف الخطوط الطيفية للمجرات البعيدة نحو النهاية الحمراء للطيف ـ الانحراف الاحمر الكوني المشهور. the celebrated cosmological red shift

وكما تم ملاحظته في القسم (١ ـ ١) فعلى المقاييس الكبيرة (اكبر من حجم مجاميع المجرات اي اكبر من (10^{23} m) فان المادة الكونية منتشرة بانتظام بصورة ملحوظة ، وان معدل الانتشار هو منتظم ايضا لدرجة كبيرة . ان الغموض الاساس حول سبب ذلك سوف يكون موضوعا للبحث في الاقسام القادمة . وللوقت الحاضر . فاننا نلاحظ ، ببساطة ، بان انتشار الكون المستمر بصورة منتظمة ومتجانسة يمكن ان يشرح بمعامل اساس واحد $a(t)$ والذي يمكن اعتباره متناسبا مع المسافة بين مجموعتين نموذجيتين من المجرات . وبانتشار الكون فان $a(t)$ يزداد مع الزمن «t» .

ان النمط الدقيق للدالة $a(t)$ يعتمد على ديناميكية الكون في المقاييس الكبيرة والمسيطر عليها من قبل الجاذبية . ان ذلك سوف يتم بحثه بالتفصيل في القسم (٤-٢) لذا فان بامكاننا استعمال النسبية العامة لاستنباط نمط الدالة $a(t)$. وان النتيجة سوف تعتمد على مصدر الطرف المستعمل ، فاذا تم الافتراض بان تأثيرات الجاذبية المسيطرة هي ناجمة عن المجرات وان t هو غير كبير جدا فان .

$$a(t) \propto t^{2/3} \qquad (1.16)$$

ومن الناحية الاخرى اذا كانت كتلة ـ طاقة الكون مسيطرا عليها من قبل الاشعاع فعندئذ

$$a(t) \propto t^{1/2} \qquad (1.17)$$

وفي كلتا الحالتين فان اللحظة الاولية $a(t) = o$ قد تم اختيارها لتتماشى مع فكرة اصل واحد ...ميز بضغط شديد غير محدد عند الزمن $t = o$ ان هاتين العلاقتين

لهما نفس الشكل العام للمنحني المبين في الشكل (٣) .

لقد سبق وان تم ذكره بان الكون محاط باشعاع حراري بدرجة حرارة حالية تقدر بـ 3 K ان طول الموجة النموذجية تتدرج بموجب $\lambda \propto a(t)$ لذا فان حرارة الاشعاع تنخفض بانتشار الكون .

$$T \propto a^{-1}(t). \qquad (1.18)$$

ان كثافة الطاقة للاشعاع الكهرومغناطيسي والتي يرمز لها تتحدد بقانون ستيفان Stefans Law

$$\rho_\gamma = a T^4,$$

لذا فان

$$\rho_\gamma \propto a^{-4}(t). \qquad (1.19)$$

وفي هذا السياق فان □ ترمز الى ما يدعى بثابت الاشعاع المعرف بواسطة مصطلحات h,c,k في الجدول رقم (٣) . ويجب ان لانخلط بينه وبين معامل المقياس الكوني a (t) .

وبصورة مغايرة فان كثافة كتلة ـ طاقة المادة

$$\rho_m \propto a^{-3}(t) \qquad (1.20)$$

انظر القسم (٢ـ٤) . ويتبع ذلك بانه عندما تتجه a الى الصفر a → ٥ فان Pγ > Pm لذا فان الكون كان مسيطرا عليه من قبل الطاقة الاشعاعية في المراحل الاولية للكون . ان الرمز tequal سوف يستخدم للاشارة الى حقبة الزمن التي كانت عندها Pm = Pγ ان هذه الحقبة من الزمن يمكن تحديدها بالاستقراء باستخدام الارصادات للنسبة الحالية لكثافتي الطاقة . وقد وجد بان

$$t_{\text{equal}} \sim 10^5 \text{ years.}$$

واذا استخدمنا العلاقة (١ـ١٧) لحقبة الزمن tequal فان المرء يجد بأن

$$T \propto 1/t^{\frac{1}{2}}, \qquad (1.21)$$

لذا فان الحرارة ترتفع بدون حدود عندما يقترب t من الصفر ○ ← t بالاضافة الى ذلك فان معدل الانتشار هو

$$H \equiv \mathring{a}/a \propto 1/t, \qquad (1.22)$$

وهو بدوره كبير ايضا كلما اتجه t نحو الصفر ○ ← t لذلك فان الكون البدائي قد تميز بظاهرتين حيويتين ، درجة حرارة هائلة ، وانتشار انفجاري ولذلك اطلق عليه مصطلح « الانفجار الكبير » .

ان ثابت التناسب في العلاقة (١ ـ ٢١) يعتمد على الهيكل المفصل للمادة الكونية وكمؤشر تقريبي فان

$$T \simeq 10^{10}\ \mathrm{K}/t_{\mathrm{sec}}^{\frac{1}{2}}, \qquad (1.23)$$

حيث ان tsec تشير الى الحقبة الزمنية يجب ان تحدد بالثواني . ان معدل الطاقة لجسيم نموذجي نتيجة للاضطراب الحراري هو حوالي KT حيث ان K هو ثابت بولزمان Boltzmans' Constant . وبوضوح فاننا كلما درسنا الحقبات الزمنية المتتالية في القدم فان فيزياء المواد الكونية سوف تتناظر مع طاقات اعلى واعلى . ان مسرعات الجسيمات المختبرية الحالية تتوصل الى طاقات للجسيمات يحتمل انها كانت سائدة حوالي $t \sim 10^{-12}S$ في الكون البدائي . ان فيزياء الحقبات السابقة يجب ان تبنى بصورة رئيسة على المجادلات النظرية فقط .

وعندما تكون الحرارة عالية بالقدر الكافي ، فان الطاقة الحرارية يمكن ان تقود الى انتاج ازواج الجسيم/ مضاد الجسيم . وان ذلك يحدث عندما تكون $KT \geqslant 2moC^2$. لذلك فقبل حوالي ثانية واحدة كانت هناك ازواج الكترونات ـ بوزيترونات وقبل $10^{-6}S$ كانت هناك ازواج بروتون مع مضاد البروتون وهكذا ويتبع ذلك انه قرب لحظة الخلق فان جميع الجسيمات ومضادات الجسيمات كانت موجودة بوفرة ، وبعدئذ وحيث ان الكون قد انتشر وبرد ، فان مضادات الجسيمات قد افنيت مع الجسيمات واختفت من الكون منتجة بذلك كمية كبيرة من الاشعاع الكهرومغناطيسي . ان هذا الاشعاع الحالي في يومنا هذا ، بعد ان برد كثيرا ، في

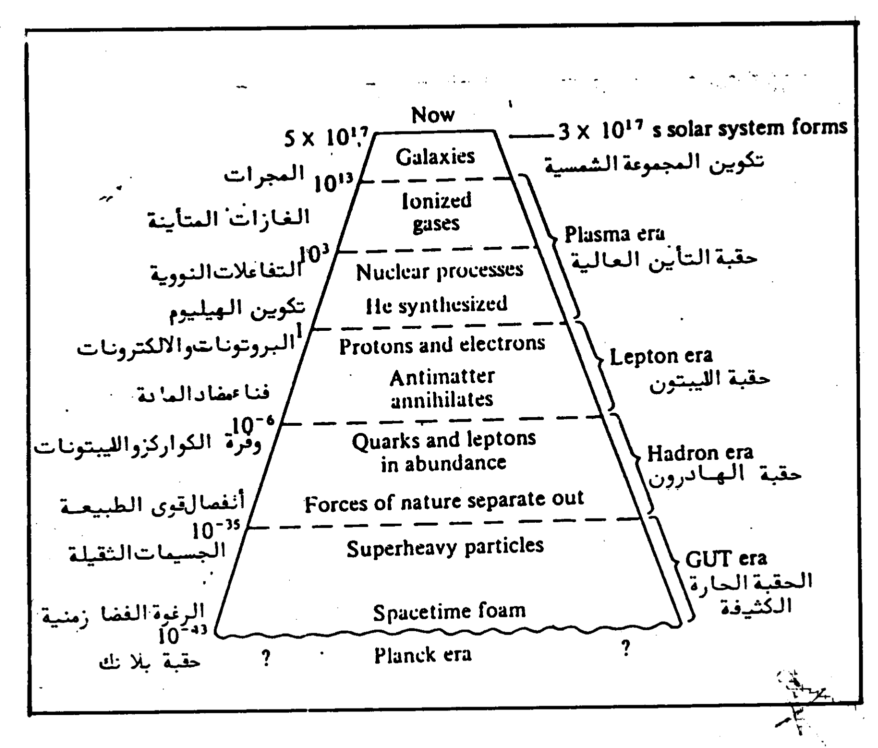
شكل حرارة كونية خلفية قدرها 3 K .

ويبدو بوضوح ان كمية مضاد المادة التي تواجدت في الكون الاولي ، كانت غير مساوية بصورة دقيقة كمية المادة . وبعكسه سوف لن يكون هناك بقية من المادة لتكوين المجرات . ان اصل عدم التوازن هذا بين المادة ومضاد المادة سوف يكون موضوعا للبحث في القسم (٤-٤) .

لذا فان الكون البدائي يمكن ان يميز بسلسلة من الحقبات الزمنية (انظر الشكل ٦) ان اقدم مثل هذه الحقبات قد استمرت حوالي 10^{-43}S وحدث ذلك عندما كان عمر الكون حوالي « زمن بلانك » واحد ، وخلال هذه الحقبة كانت تأثيرات جاذبية مهمة جدا ولربما قاد ذلك الى اضطراب لهيكل الفضازمن . (انظر القسم ٢-٢) وبسبب عدم وجود نظرية معتمدة لحد الان لجاذبية الكم ، فليس من الممكن الاستمرار في البحوث التفصيلية لهذه الحقبة التي تدعى « حقبة بلانك » . «Planck Era »

وفي نهاية حقبة بلانك « Planck Era » يفترض ان كانت درجة الحرارة حوالي 10^{32} K وتواجدت مكونات البنية الاولية للمادة فقط ، وكانت الكثافة هائلة 10^{79} Kgm^{-3} ، وبهبوط درجة الحرارة فان مكونات البنية (الكوارك ؟) قد خلقت الهاردونز وبهبوط درجة الحرارة بصورة اكبر فان واحدا تلو الاخر من الغالبية العظمى من هذه الهادرونز قد افنيت مع جسيماتها المضادة . ومن تلك الهادرونز التي تفادت الفناء فان القسم الاعظم منها قد انحل على اي حال بسبب كونها غير مستقرة .

وبعد حوالي واحد من المليون من الثانية ، كانت المادة الكونية الاولية تتألف من الجسيمات الاخف ، البروتونات ، والنيوترونات والالكترونات ، الميونات والبيونات وجسيماتها المضادة بالاضافة الى النيوترينوز والفوتونات والكرافيتونز . ان الجسيمات الثقيلة مثل تلك التي تحتوي على كواركات غامضة وساحرة قد اختفت



الشكل رقم (٦)

History of the universe.

«تـاريخ الكـون» ان الاطوار الاكـثر اهمية مبينـة (الوقت بـالثواني) . ان اللحظات الاولية جدا والتي يمكن لنظرية الفيزياء من ان تشرحها بصورة منطقية هي زمن بلانك Planck Time حوالي 10^{-43}S بعد حادث الخلق الاولي . ان الهيكل الحالي للكون وبضمنه القوى الاساس والجسيمات التي تم بناء المادة منها قد جمدت من الفرن الحار للغاية الذي كان المميز للومضة القصيرة الاولية للخلق .

عند ذلك الزمن . وبعد حوالي $10^{-6}S$ فان درجة الحرارة قد اصبحت واطئة لدرجة لايمكن معها ادامة مضادات البروتون ومضادات النيوترونات وفي حوالي الزمن $10^{-3}S$ فان الميونات كانت قد افنيت واخيرا حوالي ثانية واحدة كانت البوزيترونات قد افنيت تاركة النيوترونات البروتونات الالكترونات النيوترونات الفوتونات والكرافيتونات فقط .

ونتج عن استمرار هبوط درجة الحرارة ، انخفاض الطاقة الحرارية دون مستوى الطاقة المقيدة للجزيئة المركبة والتي مكنت النيوترونات والبروتونات من الالتحام معا . ان الحسابات تشير الى ان التركيب النووي البدائي قد انتج حوالي ٢٥٪ وزنا هيليوم اما بقية المادة فتتكون بصورة كاملة من البروتونات الحرة (الهيدروجين) وبعد دقائق قليلة كانت الحرارة قد اصبحت واطئة الى درجة لا تسمح بتفاعلات التحامية اخرى ، وان قسما قليلا من المادة النووية يمكن من ان يتشكل على هيئة نويات اثقل من الهيليوم في الوقت القصير المتوفر .

وقد استمر الاتجاه نحو البرود ، الا ان معدل البرودة قد تناقص مع الزمن ($dT/dt \propto t^{-3/2}$) لذلك استغرق زمنا يقدر بحوالي 10^5 سنة قبل ان تهبط درجة الحرارة الى حوالي 10^4 K وفي تلك النقطة فان الطاقة KT قد هبطت الى دون طاقة التأين للهيدروجين وان البروتونات والالكترونات الحرة اتحدت لتكون الهيدروجين الذري . وفي هذه المرحلة اصبحت المادة الكونية شفافة (منفذه) بالنسبة للضوء ، لذا فمنذ ذلك الحين تم فك ارتباط المادة والاشعاع بصورة كبيره . وبمرور الوقت فان الغازات المستمرة في البرودة قد تجمدت معاً لتكوين المجرات الاولية وان المناطق ذات الكثافة الاعلى تمكنت من جذب مواد اخرى وبذلك زادت من قوتها الجاذبة وحدث الانقباض البطيء لهذه المجرات الاوليه تحت تأثير جاذبية هذه المجرات نفسها وتبع ذلك مراحل متتالية من التجزئة لحد إن الكتل الكروية الغازية قد اصبحت بحجم النجوم المنتفخة . وبسبب كون هذه الكتل الكروية الغازية في حالة انقباض بدلا من حالة تمدد فان الاتجاه العام للكون نحو البرودة قد تمت معادلته

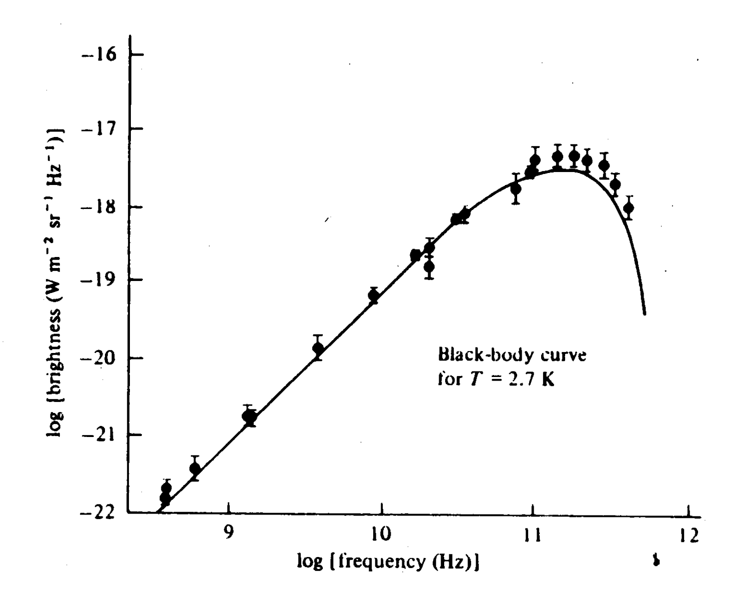
واكثر من ذلك . ان انقباض الغاز قد سبب في رفع درجة الحرارة بصورة متواصلة لدرجة ان الحرارة في مراكز هذه الكتل قد وصلت الى حد يسمح ببدء التفاعلات النووية (عدة ملايين من الدرجات) . ومع بداية توفر الطاقة النووية توقف الانقباض بسبب ان الحرارة والضغط قد ارتفعا لدرجة الموازنة مع ضغط الانقباض الجاذبي . وفي النهاية فقد استقرت هذه الكتل الكروية الغازية لتشكيل ما يطلق عليه الآن بالنجوم .

ان صفة اساسية لشرح « الانفجار الكبير » المقدم هنا ، هي افتراض التعادل الدينامي الحركي . وبدون هذا الافتراض تصبح شروحات تفاصيل العمليات في الطور البدائي للكون اكثر تعقيدا بصورة كبيرة . ان التعادل الدينامي الحراري يعني بان المادة الكونية يمكن تمييزها بدالة واحدة هي درجة الحرارة «T» ، ولكن هل ان هذا الافتراض معقول ؟

ان قياسات الحرارة الاشعاعية ذات الخلفية الكونية تؤكد لدرجة جيدة من التقريب بان هذا الاثر من الطور البدائي للكون له طيف بلانك Planck Spectrum والذي يشير الى التعادل الحراري (انظر الشكل ٧) . الا ان هذا الاشعاع يحمل فقط اثر الحالة الكونية عند زمن حوالي 10^5 سنة من لحظة الخلق ، عندما انفك ارتباط المادة بالاشعاع ، فماذا يمكن القول عن الاطوار السابقة ؟

بسبب ان الكون البدائي كان حارا وكثيفا جدا ، فان مختلف الجسيمات دون الذرية ، كانت قد تفاعلت بقوة بعضها من البعض الاخر ، مشجعة بذلك على تكوين التوازن .

الا انه من الناحية الاخرى فان الاطوار البدائية كانت ذات انتشار سريع جدا والذي كان يميل الى خلخلة التوازن ، وكمؤشر عام اذا كان معدل تفاعل نموذجي لاية عملية تفاعل متبادل بين جسمين اسرع بكثير من معدل الانتشار في طور معين ، فان التوازن سوف يسود في ذلك الطور . ان معدلات التفاعل تتناسب مع الكثافة العددية لكل نوع من انواع الجسيمات وبالنسبة للجسيمات متساوية الوفرة ، فان



الشكل رقم (٧)

ان طيف الطاقة لأشعاع جسيم اسود. له شكل مميز: ان المنحني هو رسم بيـاني مستنبط نظريا ليتناظر مع درجة حرارة (2.7 K). وان النقاط تمثل نتائج عدة ارصادات للاشعاع ذى الخلفية الموجية متناهية الصغر الكونية.

المعدل يكون لذلك متناسبا مع a^{-6} والذي يتناسب مع t^{-3} ، ومن الناحية الاخرى فان معدل الانتشار هو $\dot{a}/a \propto t^{-1}$ ولهذا السبب والا اذا كانت العوامل الاخـرى المؤثرة في معدل التفاعل تعتمد بصورة شديدة عـلى الحرارة (ولـذلك تعتمـد على الزمن) [والذي يمكن ان كانت عليه الحالة قبل $10^{-35}S$] فيستدل من ذلـك انه باقتراب t نحو الصفر $t \to 0$ ، فان معدلات التفاعل تفوق معدل الانتشار .

ويمكننا ان نستنتج من هذه الاسس العامة بان المادة الكونية بدأت بحالة من التوازن الدينامي الحراري . ومن ثم ، وبتقدم الانتشار ، فان معدلات التفاعل قد انخفضت ولم يعد بأمكانها التنافس مع سرعة الانتشار . لذا فان مختلف مكونات الانواع للمادة خرجت الواحدة تلو الاخرى من حالة التوازن بعضها مع البعض

الاخر . وبالنسبة لمعظم الانواع فان الفناء الغزير للجسيمات مع مضاداتها حدث في هذه المرحلة .

لنبحث كمثال الالكترونيات والبوزيترونات . فقبل حوالي ثانية واحدة من بدء الخلق . فان هذه الجسيمات كانت في توازن مع الاشعاع الكهرومغناطيسي (الفوتونات) . ان الفناء قد حدث عند معدل (سريع) معين الا ان ازواجا جديدة e^-, e^+ كانت قد خلقت من الاشعاع الحراري بنفس المعدل لتحافظ على تركيز التوازن لكل نوع من الانواع .

$$e^+ + e^- \underset{\text{balance}}{\rightleftarrows} 2\gamma$$

توازن balance

وبعد ان انخفضت الحرارة الى اقل من 10^{10} K فان معدل طاقة الفوتونات كانت دون الدرجة التي تسمح بخلق الازواج لذا فان الاتجاه المشار اليه بالسهم نحو اليسار في التفاعل اعلاه نحو خلق الالكترونات والبوزيترونات قد توقف . ولم يكن في الامكان التعويض عن النضوب السريع في مخزون e^-, e^+ . وبعد فترة وجيزة لم يبق هناك غير فضلة صغيرة من الالكترونات الفائضة .

وفي حالة التوازن الديناميكي الحراري ، فإن الوفورات النسبية لنوعين من الجسيمات تحدد بنظرية بولزمان الاحصائية « Boltzmann » ، اذا كانت هناك حالتان ذات طاقات E2,E1 فان النظرية تتنبأ بان الحالتين ستكونان ماهولتين بوفورات نسبية كنسبة $\exp(-E_1/KT) : \exp(-E_2/KT)$ واذا كانت الجسيمات من احدى النوعيات ذات كتلة سكونية m1 في حين ان النوعية الاخرى ذات كتلة سكونية m2 ، فاستعمال المعادلة $E = mc^2$ والحقيقة بانه في حالة التعادل ، فان هذه الجسيمات تخلق بنفس المعدل الذي تفنى به فان الوفورات النسبية للنوعين هي :

$\text{Exp}\,[(m_2 - m_1)c^2/KT]$ لذا فان «ثابت بولزمان» Boltzmanns Constant هذا يرجح الجسيمات ذات الكتلة الاقل .

$$\frac{\text{وفرة النوعية1}}{\text{وفرة النوعية 2}} = [(m_2 - m_1)c^2/kT] > 1$$

$m_2 > m_1$

ان مثالا جيدا يتعلق بالبروتونات والنيوترونات . ان النيوترونات هي اثقل قليلا لذا فيفترض انها كانت اقل وفرة في الكون البدائي الحار . ويفسر ذلك سبب ان عالمنا اليوم مكون بصورة غالبة (حوالي ٣٠٪) من البروتونات في هيئة الهيدروجين بصورة رئيسة . ان نسبة النيوترون/ البروتون تعكس حالة الكون خلال الثانية الاولى من الانفجار الكبير .

ان النظرية العامة للنسبية تضع ايضا بعض التنبؤات حول مستقبل الكون . ان تفحص الشكل (٣) يبين بأن معدل انتشار الكون يتباطأ بصورة تدريجية . وان هذا التباطؤ يمكن فهمه بسهوله . ان جاذبية جميع المجرات وبقية المواد الكونية تعمل كمقيد للحركة الخارجية الانتشارية واذا كان هذا التقييد قويا بالدرجة الكافية فانه ، في نهاية المطاف (عندما يكون t كبيرا) سوف ينخفض الانتشار الى الصفر . وبعد ذلك فان الانقباض سيحل مكانه وان الكون سوف يتهاوى على نفسه بمعدل متسارع (واننا هنا نهمل تأثير التنافر الكوني الذي تم شرحه في القسم ٢ ـ ١) وبعد عدة بلايين من السنين فان مجاميع النجوم سوف تتهشم معا وان اي حجم معين من الفضاء سوف يتقلص بصورة كارثة في نوع من « الضغط الكبير » مماثل بصورة معكوسة « للانفجار الكبير » . وان نتيجة هذا الانهيار المروع هي غير واضحة ، الا انها يمكن ان لاتؤدي فقط الى ازالة كافة انواع الهياكل الطبيعية المعروفة بل قد تتعدى ذلك الى الفناء الكامل للكون وبضمنه الفضاء والزمن . وان هذه النهاية المنفردة للكون سوف تمثل صورة متناظرة معكوسة لأصل خلق الكون . وفي مثل هذا النموذج فان الكون يستمر في التواجد لفترة محددة فقط .

ان الحالة الضرورية لحصول عملية الانقباض هي تواجد كمية كافية من المواد المتجاذبة في الكون اي انها تعتمد على توفر كثافة (كتلة) طاقة عالية بدرجة كافية بالنسبة لمعدل الانتشار المعين . ان الارصادات الحالية ، تشير الى ان الكثافة الكتلية للمجرات هي اقل نوعا ما عن قيمة الكثافة الحرجة لضمان حدوث الانقباض ، الا

ان موادا كونية غير منظورة (على هيئة تيوترينوز مثلا) قد تتمكن من تغطية هذا العجز بسهولة (ان هذه المواضيع سوف تبحث بتفصيل اكثر في الفصل ٤) .

واذا كانت جاذبية الكون غير قادرة على ايقاف الانتشار فيفترض بان الكون سوف يستمر الى ما لانهاية . وفي اخر المطاف فان النجوم المنفردة سوف تنفجر او تحترق نهائيا ، وتنهار ، مولدة نجوما ثانوية ، نيوترونية او الكتل السوداء المركزة غير المشعة . وبخفوت المجرات فان الكتل السوداء سوف تبتلع موادا اخرى مثل النجوم الميتة والغاز والغبار . . . . الخ . وبالتالي فانها سوف تنمو بصورة كبيرة . ان العمليات البطيئة للغاية مثل انبعاث الاشعاع الجاذبي سوف تؤدي الى الانحلال المداري لعدد كبير من الانظمة ، بحيث ان المجرات سوف تميل الى الانهيار بصورة بطيئة الى كتل سوداء غير مشعة . ان المادة الكونية التي ستتمكن من الانطلاق الى الفضاءات ما بين المجرات سوف تبرد في نهاية الامر الى درجة الحرارة السارية للاشعاع الخلفي والذي بدوره سوف يبرد وفقا للقانون (١ ـ ١٨) .

وقد تحدث نتائج كمية غامضة اخرى . تسبب في تبخر الكتل السوداء ببطء تاركة بقية من الاشعاع فقط ، وان البروتونات في المواد التي قد تنجو من هلاك خناق الكتل السوداء ، سوف تنحل ايضا بصورة تدريجية الى بوزيترونات في الامد الطويل (انظر الصفحة   ) وان هذه البوزيترونات سوف تبدأ بافناء الالكترونات الباقية . ان اتمام الفناء او عدم اتمامه سوف يعتمد في نهاية المطاف على تفاصيل النموذج . وعلى اي حال فان الحالة النهائية للكون المنتشر ابديا سوف تبدو وكأنها غلاف رقيق متلاش من الفوتونات والنيوترونات والكرافيتونات ولربما قليل من الالكترونات والبوزيترونات . وعندئذ سوف لن يحدث اي شيء اكثر اهمية من ذلك للمستقبل الازلي .

الفصل الثاني

scales of structure

مقاييس الهيكل



في الفصل السابق ، تم تحديد ابعاد النظام المتسلسل للهياكل الطبيعية ، ومن الغريب ان اصغر المقاييس للبعد والزمن (lp,tp) واكبر هذه المقاييس (tH) تحدد بالجاذبية ، وبين هذين الحدين تقع الهياكل التي تهيمن عليها القوى النووية ($\leq 10^{-14}m$) والكهرومغناطيسية . والتي تنظم جميع الهياكل من المقاييس الذرية الى مقاييس الطول المألوفة في حياتنا الاعتيادية .

وبالرغم من ان الطبيعة توفر انواعاً هائلة من الهياكل الفيزيائية فان بعض هذه الهياكل تتواجد على الاغلب بصورة منتظمة خلال الكون وبخواص محددة بدقة نوعا ما . وسوف تعتمد التفاصيل الخاصة للانظمة المفردة على قوانين الحركة والظروف النهائية او الاولية المتعددة والتي تحدد بمجموعها تصرف هذه الانظمة . الا ان المعالم الاجمالية ، الحجم ، الكتلة ، العمر . . الخ غالبا ما تحدد ضمن حدود تقديرية معينة لأقرب قوة للعشرة بقيم الثوابت الاساسية مثل G,h,c,e,mp فقط . فالذرات مثلا والتي تعتمد هياكلها على الكهرومغناطيسية وفيزياء الكم . تحدد بصورة رئيسة بالعوامل h,e المتصلة بهذه الفروع من الفيزياء . ومن الناحية الاخرى فان النجوم هي اجسام متجاذبة وتحتجز طاقاتها كهرومغناطيسيا فان هيكلها يعتمد على G ايضا .

وفي الاجزاء التالية سيتم تحليل الانظمة الطبيعية الرئيسة ذات الصبغة بهذه الطريقة غير الدقيقة نوعا ما ، لاكتشاف العوامل الحرجة جدا بالنسبة لهياكلها . وسيتضح بصورة ملفتة للنظر بان عددا قليلا من هذه العوامل تكفي لأعطاء شرح متكامل تقريبا للطبيعة .

the role of constants in physical theory

(٢ ـ١) دور الثوابت الاساسية في النظرية الفيزيائية.

ان اسلوب تخمين المعالم الرئيسة لنظام ما بدون الدخول من خلال النظرية التفصيلية للقوانين الفيزيائية غالبا ما يدعى « بالتحليل البعدي » ان مثالا بسيطا هو ما يلي :

ما هي دورة الرقاص (البندول) ؟

ولأجل حل هذه المسألـة يجب علينا اولا ان نخمن مـا هي الكميات ذات العلاقة بالنظام قيد الدراسة . ان ذبذبات الرقاص على الارض تحرك بواسطة جاذبية الارض . ان قوة هذه الجاذبية يمكن ان تميز بالكمية g وهي معدل تسارع الاجسام الساقطة بدون مقاومة نحو الارض على سطحها ($g = 9.81\ ms^{-2}$) . ان كميتين لهما معالم خاصة بالرقاص نفسه الطول والكتلة . وبالنظر لأهتمامنا بفترة ذبذبة الرقاص فاننا نرغب ان نستخرج كمية ذات وحدات زمن . واذا رمزنا الى الـزمن T والى الطول L والكتلة M ، وبما ان ثابت الجاذبية ذو وحدات LT^{-2} فلأجل دمج الثابت g مع طول الرقاص L وكتلته M وبهدف ان نحصل على كمية ذات وحدات زمن فاننا يجب ان نأخذ التركيب $(L/g)^{1/2}$ ولا حاجة الى الكتلة M . والنتيجة فـان ذبذبـة الرقاص وهي $(L/g)^{1/2}$ ليس من المحتمل ان تكون صحيحة عدديا بصورة مطلقة الا انها مع ذلك ، يجب ان تبين فترة الذبذبة ضمن حدود تقريبية معينة نوعا ما . وقد تم تأكيد ذلك بالنـظرية التفصيليـة والتي تعطينـا $2\pi\ (L/g)^{1/2}$ لذا فـان الجواب المستخرج بصورة مطلقة من الجدالات البعدية هو في حالة خطأ بمقدار معامل (٦) تقريبا : (2π) وبالنسبة الى هدفنا فان الاخطاء من هذا النوع هي غير ذات شأن .

ان من المهم ، التفريق بين الكميات الثابتة بالمعنى المجرد بأنها لا تتغير وبين الثوابت الكونية الرئيسة . ان كتلة الارض مثلا هي ثابتة تقريباً الا ان كواكبا اخرى تتـواجد بكتـل تختلف كليا عن كتلة الارض . ومن النـاحية الاخـرى فـان كتلة الالكترون هي نفسها بالنسبة لجميع الالكترونات بغض النظر عن موقع تواجدهم في الكون . وفي المثال المتعلق بالرقاص فان كلتا الكميتين ذات العلاقة L,g هما ليستا اساسيتين والتي تبين فقط حقيقة امكانية ان يكون للرقاص ذبذبات ذات فتـرات اعتباطية . ان الرقاص هو ليس احد الهياكل البلرزة التي تحدث في مجمل الكون . ان عدد الثوابت الاساسية الكونية الحقة هو في الواقع صغير نسبيا وقد جابهنا لحد الآن ست ثوابت c,e,h,G,gw,gs .

ان الثوابت دون الذرية الاخرى تتعلق بكتل مختلفة الجسيمات وقد سبق ان

ذكرنا هذا الثابت بالنسبة للالكترون . ان المشكلة هنا هي اننا ، وعلى مستوى معلوماتنا الحالية لانعرف اي الجسيمات هي بالفعل اساسية . ان النيوترونات المنعزلة مثلا تنحل الى بروتونات والكترونات ومضاد النيوترينوز ، ويجب على المرء ان لا يعتبر النيوترونات ولا العديد من الجسيمات دون الذرية غير المستقرة الاخرى المعروفة الآن بأنها اساسية . ولربما يجب ان نقرن الكوارك مع الالكترون بهذا التمييز . الا ان كتل الكوارك المفردة (المعتقد بأنها توجد ست نوعيات على الاقل) هي غير مؤكدة تماما . اضافة الى ذلك فحين تتحد الكوارك فان جاذبيتها العنيفة جدا تجعلها تفقد جزءاً ملموسا من كتلتها عند الالتحام معا . لذا فانه من غير الممكن ان نستنتج من رصد البروتونات مثلا ما هي كتل الكوارك المنفردة . وان تعقيدا آخر بهذا الشأن هو ان معظم النظريات المتعلقة بالكوارك تعامل الوحدة بين الكوارك على انها غير قابلة للانفلاق مطلقا . لذا فان وجود كوارك منفصل يعد مستحيلا .

واذا كان الكوارك محتجزا بصورة دائمية داخل الجسيمات مثل البروتونات فيبدو اكثر معقولية عند اعتبار البروتون كوحدة اساسية بدلا من كتلة الكوارك . لذا فاننا نأخذ mp,me كتل الالكترون والبروتون على التوالي بأنهما وحدتان اساسيتان للكتل الطبيعية ، لأن هذين الجسيمين هما الجسيمان المستقران اللذان يشكلان البنية لجميع المواد الاعتيادية . واذا كانت النظريات الحديثة التي تقترح بأن البروتون غير مستقر بصورة ضعيفة هي نظريات صحيحة تبقى هناك مبررات جيدة كافية لابقاء كتلة البروتون كوحدة اساسية . ان البروتون لايزال بصورة واضحة ، اكبر الجسيمات الثقيلة استقرارا . وفي الجدول رقم (٣) تم درج جميع الثوابت الكونية والتي يبدو بانها ضرورية لتبرير الظواهر الاجمالية لمعظم الهياكل الطبيعية المعروفة . ولاجل الكمال فاننا ادرجنا ثابت بولزمان «K» والذي هو عامل تحويل بين وحدات الطاقة الحرارية والحرارة .

واذا اردنا لمحتويات هذا الجدول ان تكتسب الاهمية الكونية المدعاة لها ، فان من الضروري ان نبرهن بانها فعلا ثابتة ، فمثلا اذا كانت شحنة البروتون متغيرة من

مكان الى اخر او من حقبة زمنية الى حقبة زمنية اخرى فلا يمكن اعتبارها كمية اساسية . وفي تلك الحالة يتطلب الامر قانونا جديدا لشرح هذه التغييرات وان هذا القانون بدوره سوف ينطوي على عوامله الاكثر اساساً .

ان مجموعة من التجارب قد اجريت لاختيار ثبوت هذه الثوابت . ان هذه التجارب يمكن تقسيمها الى نوعين ، تجارب محلية ورصد كوني ، ان التجارب المحلية تفتش عن الآثار الباقية ، من تأثير التغيير عبر حقبات الازمنة الجيولوجية . فمثلا ان التغييرات في gs او e سوف تظهر في الاستقرار النووي والعمر الاشعاعي لانحلال $\propto$.

ان التغييرات في ثابت الجاذبية G تؤثر على سطوع الشمس وعلى الحركة المدارية للارض ويتوقع لها ان تكون قد تركت آثارا في سجل التاريخ الجيولوجي .

ان الرصد الكوني يمكن ان يتفحص بدقة كلا من التغييرات الفضائية والزمنية في الفيزياء بسبب ان المناطق البعيدة من الكون يمكن نظرها الان بواسطة الضوء الذي قامت بأشعاعه قبل بلايين السنين . ان التغييرات في e او me سوف تؤثر في تفاصيل الطيف للمجرات البعيدة وان التغييرات في G ينبغي ان تولد تأثيرات تطورية ظاهرة في هياكل للمجرات . . . الخ .

وان جميع هذه التحليلات الدقيقة ، لاتوفر اي دليل دامغ في اتجاه وجود تغيير في هذه الثوابت الاساسية . ان بعض المؤلفين يعتقدون بأن هناك بعض الدليل على تغيير في G بمقدار اقل من جزء في كل 10^{10} في كل سنة ، غير ان المعلومات المتعلقة بذلك هي عرضة لشرح بديل .

ان هناك ثلاثة استثناءات تتعلق بالثوابت الكونية H، Λ، S فكما تم بيانه سابقا فأن الثابت H لايقصد به ان يكون ثابتا . ان H^{-1} يوازي عمر الكون بصورة تقريبية ويعتقد بأن المصطلح الكوني Λ يتغير بصورة ضعيفة للغاية مع الزمن في هذا العصر . الا انه خلال المراحل الاولية جدا للكون فأن المحتمل ان كانت التغييرات في Λ

Name	Symbol	Numerical Value (SI units)
Charge on proton	e	1.60×10^{-19}
Planck's constant	h	6.63×10^{-34}
Speed of light	c	3.00×10^{8}
Newton's gravitational constant	G	6.67×10^{-11}
Rest mass of proton	m_p	1.67×10^{-27}
Rest mass of electron	m_e	9.11×10^{-31}
Weak force constant	g_w	1.43×10^{-62}
Strong force constant	g_s	15
Hubble constant	H	2×10^{-18}
Cosmological constant	Λ	$< 10^{-53}$
Cosmic photon/proton ratio	S	10^{9}
Permittivity of free space	ε	8.85×10^{-12}
Boltzmann's constant	k	1.38×10^{-23}
********************		
Planck length, $(Gh/c^3)^{\frac{1}{2}}$	l_P	1.62×10^{-35}
Planck time, $(Gh/c^5)^{\frac{1}{2}}$	t_P	5.39×10^{-44}
Planck mass, $(hc/G)^{\frac{1}{2}}$	m_P	2.18×10^{-8}
Proton Compton wavelength, $h/m_p c$	l_p	1.32×10^{-15}
Proton (nuclear) Compton time, $h/m_p c^2$	t_N	4.41×10^{-24}
Hubble time, H^{-1}	t_H	5.00×10^{17}
Hubble radius, cH^{-1}	r_H	1.5×10^{26}
Bohr radius, $4\pi\varepsilon h^2/m_e e^2$	a_0	5.29×10^{-11}
Radiation constant, $\pi^2 k^4/15c^3h^3$	a	7.56×10^{-16}
Electromagnetic fine structure constant, $e^2/4\pi\varepsilon hc$	α	7.30×10^{-3}
Weak fine structure constant, $g_w m_e^2 c/h^3$	α_w	3.05×10^{-12}
Gravitational fine structure constant, Gm_p^2/hc	α_G	5.90×10^{-39}

الجدول رقم (٣)

قائمة بالثوابت الاساسية والكميات المشتقة

ان الثوابت الاساسية الطبيعية المدرجة هنا تحدد بصورة كبيرة المعالم الرئيسة لمعظم الهياكل الطبيعية المعروفة . ان العديد من هذه المعالم هي حساسة بصورة ملحوظة الى قيم هذه الثوابت والى نوع من العلاقات العددية العفوية ، على ما يبدو ، بين هذه الثوابت . لاحظ ان الثابت H (ولربما Λ) هما ليستا ثابتتين بالحقيقة ولكنهما تتغيران عبر مقاييس الزمن الكونية في حين ان الثابت K والثابت ε هما عاملا تحويل بين نظامي الوحدات فقط .

جذرية وهامة ، وسيناقش هذا الموضوع بصورة اكثر في القسم(٤ـ٥) . ان النسبة S هي ليست ثابتة بصورة جلية لأن الفوتونات تخلق وتمتص بصورة مستمرة وان هناك تراكم مستمر للحرارة والضوء من النجوم مثلا . الا انه برغم ذلك فأن محتوى الكون من الفوتونات في العصور الاولية كان اكثر بكثير من محتوى ضياء النجوم ، لذلك فأن التغيير في S حتى عبر الحقبات الكونية هو قليل .

(٢ ـ ٢) البنية المجهرية. Microstructure

سوف نوضح في الجزء التالي ، كيف ان مقاييس البنى المجهرية الاساس في الكون تحدد في الواقع بالثوابت المدرجة في الجدول (٣) . وفي هذا الجزء والجزئين التاليين فان الشروحات الواردة فيها مبنية على استعراض للموضوع من قبل كاروريس Carr AND Rees (انظر جدول المصادر) .

الرغوة الفضازمنية spacetime foam

ان اصغر الهياكل المتكهن بها بواسطة الفيزياء المعروفة تحدث عند طول بلانك Planck length $lp \sim 10^{-35}$ m . وبالرغم من ان الفيزياء في هذه المقاييس المتناهية في الصغر ، لا يمكن التوصل اليها مطلقا من خلال التجارب الحالية فان بعض النماذج النظرية توحي بانه عند المقاييس $\sim lp$ ، ان من الضروري اجراء تحويرات ، جوهرية على المفاهيم التقليدية للبعد والزمن . ان نظام بلانك Planck يتميز بأهمية كل من الجاذبية وفيزياء الكم .

وكما تم شرحه في القسم (١ـ٣) فان النظرية العامة النسبية لأينشتين « Einstein » تصف الجاذبية بأنها تشويش او انحناء للفضازمن . ان احد المعالم الرئيسة لنظرية الكم هي طريقة كيف ان الجسيمات والمجالات يمكن ان تخضع لتغييرات تلقائية عشوائية . لذا ففي نظام جاذبية الكم والمتوقع لها ان تكون ذات اهمية عند مقاييس بلانك (Planck) للطول والزمن ، فأن من المرجح ان تحدث تغييرات عنيفة في منحنى الفضازمن . وفي الحقيقة ان من الممكن ايضا ان تكون طوبغرافية الفضازمن معقدة وتتخللها انفاق وجسور . وقد سبق ان تمت ملاحظة ان الفضازمن والذي غالبا ما يشبه بصفحة ناصعة او قطعة من القماش رسمت عليها فعاليات الطبيعة ، تميل بالشبه الى الشكل الاسفنجي او الهيكل الرغوي ضمن هذه

المقاييس الصغيرة جدا للبعد والزمن . وان صورة اخرى هي ان الفضازمن هو بتشبيه غامض نوعا ما ، مؤلف من ثقوب سوداء متراصة ذات مستوى حجم بلانك Planck وان جميع هذه الصور لا ترقى الى كونها اكثر من تعبير غير دقيق وهيكلي للمفاهيم المجردة التي تميز نظرية الكم للجاذبية ، والتي هي بحد ذاتها ، نظرية غير متكاملة وغير مرضية .

النـــــواة nuclei

ان نواة الذرة تحتوي على بروتونات ونيوترونات مقيدة معا بفعل القوة النووية القوية . وان المرء ليتوقع لذلك بأن تحدد كتل هذه الجسيمات ، وخواص القوة النووية حجم النواة . وان كتل البروتون والنيوترون تختلفان بأقل من ٪ 0.1 لذا فأن الحالة يمكن ان تشرح بواسطة مصطلح الكتلة mp فقط ، وبما ان النواة هي نظام كمي فأن الثابت h سيلعب دورا ، اضافة الى ذلك وحيث ان القوة النووية هي جزء مهم من الكتلة (حوالي واحد بالمائة) يضحى به كطاقة تقييد . لذا فأن النسبية هي مهمة ايضا في هذا المجال .

ان الثوابت mp,h,c يمكن ان توحد بكمية ذات وحدة للطول (طول موجة كومبتون للبروتون) (انظر القسم (١-٣) .

$h/m_pc \sim 10^{-15}$ m

$$h/m_pc \sim 10^{-15} \text{ m.}$$

وغالبا ما يشار اليه بأنه حجم البروتون بالرغم من ان هذه التسمية هي (مضللة) قليلا وسيكون اكثر دقة لو قلنا بأنه سوف لايمكن حصر بروتون في حيز من الفضاء اصغر من h/mpc ، ان سبب ذلك يتعلق بمبدأ اللامحققية (مبدأ الريبة) لهايسنبرك « Heisenberg Uncertain ty Principle » في الصيغة

$$\Delta p \Delta x \sim h.$$

ان هذه العلاقة تعني اذا كان الموقع لجسيم ما يمكن تحديده لحدود قيم ذات مجال Δx فأن زخم هذا الجسم p هو غير محقق بكمية قدرها $\Delta p \sim h/\Delta x$ لذلك اذا كانت $\Delta x \sim 10^{-15}$ m فأن $\Delta P \sim 10^{-18}$ Kgms^{-1} ، ولا يمكن للبروتون ان

يكتسب مثل هذا الزخم الا اذا انطلق بسرعة قريبة من سرعة الضوء ، وعندئذ تكون الطاقة الحركية كبيرة الى درجة كافية لخلق جسيمات جديدة .

$$\text{energy} \rightarrow p + \bar{p},$$

حيث يبرز زوج بروتـون جديـد ـ مضاد البـروتون ، ومن الـواضح ، ان البروتون الاصلي اذا ماتم حصره في حيز 10^{-15} m ~ سوف يبدأ بخلق بروتونات مماثلة اخرى (مع مضاد البروتونات) لذا فأنها سوف تفقد كيانها الاصلي ، ويبدو واضحا ان النواة الذرية يجب ان يتعدى طول موجة كومبتون للبروتون . وفي الحقيقة ان النواة الذرية الصغيرة هي ليست اكبر من طول موجة كومبتون بكثير .

ولحد الان لم نتطرق بالحديث الى تأثير القوة النووية التي تعمل بين البروتونات والنيوترونات ويظهر بان شدة القوة النووية المحددة بـ gs هي عامل غير ذي اهمية بقدر تعلق الامر بالحجم النووي . ان سبب ذلك هو ان القوة النووية تعمل بين الجيران الاقرب ، لذا فانها تظهر خاصية الاشباع . ان نواة ذات جسيمات عديدة لاتكون مقيدة بصورة اكثر من نواة ذات جسيمات قليلة . ان كل جسيم يلتصق عفويا باقرب جيرانه . لذلك فان حجم النواة يتحدد بصورة رئيسة بالعدد الكلي للجسيمات النووية ومدى القوة بين الجسيمات المنفردة . وكما تم بيانه في القسم (١-٢) فان هذه القوة تتناقص بسرعة الى الصفر بعد مدى قدره 10^{-15} m ، لذا فان المجال ، ومن ثم معدل المسافة التي تفصل بين البروتونات والنيوترونات هي في الواقع حوالي نفس المسافة تقريبا مثل h/mpc .

ان سبب هذه المصادفة ، يمكن تعليله بواسطة نموذج مبسط نوعا ما لاصل القوى النووية الذي اقترحه في الاصل هديكي يوكاوا Hideki Yukawa وفي هـذا النموذج فان القوة بين الجسيمات النووية تفسر بلغة مجالات الكم ، وكما تم شرحه في القسم (١-٣) ، ان القوة تنجم عن تبادل الجسيمات « الساعية » بين البروتونات والنيوترونات (انظر الشكل رقم ٥) وبالنظر لان القوة هي قصيرة المدى فان الجسيمات الساعية يجب ان تكون ذات كتل كبيرة ، بسبب ان المدى هو طول

موجة كومبتون للجسيمات الساعية تقريبا . ان المصادفة اعلاه تقترح بعدئذ جسيمات ساعية ، ذات كتل سكونية لاتختلف كثيرا عن كتل البروتونات . وقد اتضح بان هذا الاقتراح هو صحيح ، وان المرء يمكن ان يشخص الجسيمات الساعية مع الباي ميسون Pimeson ذات الكتل 0.1 mp ~ ، لذا فان المصادفة هي ببساطة ناجمة عن حقيقة ان الجسيمات الساعية للقوة النووية والجسيمات النووية ، يتكون كلاهما من نفس الكوارك Quark .

الذرات والجزيئات

ان الخطوة التالية في سلم الهياكل هي الذرة ، ان السحابة المدارية للالكترون « مقيدة » الى النواة بواسطة القوى الكهرومغناطيسية . لذا فان المرء يتوقع ان يحدد الحجم الذري بالثوابت e,h,me ، ان هذه الثوابت يمكن توحيدها في كمية ذات وحدات للطول (مايدعى نصف قطر بوهر Bohr) كما يلي :

$$a_0 = 4\pi\varepsilon\hbar^2/m_e e^2 \sim 10^{-10}\ \text{m} \quad (2.2)$$

ويمكن ان توحد بكمية ذات وحدات للطاقة

$$E_{\text{atom}} = m_e e^4/16\pi^2\varepsilon^2\hbar^2 \sim 10^{-18}\ \text{J}. \quad (2.3)$$

ان الحسابات الدقيقة ، مثلا تعطي طاقة قدرها $m_e e^4/32\pi^2\varepsilon^2\hbar^2$ — لحالة الطاقة الدنيا لذرة الهيدروجين (ان علامة السالب هي تعبير عن حقيقة ان الالكترون مقيد في ذرة الهيدروجين ويجب ان تنفق طاقة لاجل رفع هذا القيد عن الالكترون) وان التجارب تبرهن بان اقطار الذرات هي في حدود 10^{-10} m .

ان الجزيئات تتكون من التأثيرات الالكترومغناطيسية الباقية التي تقيد الالكترونات الى النواة . ان هذه القوى ما بين الذرات هي قصيرة المدى الى حد ما ، لذا فان الهياكل الجزيئية التي تحتوي على عدد قليل من الذرات مقاربة بالحجم الى

الذرات نفسها اي ان المسافات الفاصلة بين الذرات هي ليست اكبر بكثير من الحجم الذري .

ان الاواصر بين الذرات الناجمة بسبب التأثيرات المتبقية هذه ، هي اضعف نوعا ما عن الاواصر الذرية ، وبصورة تقريبية فان

$$E_{mol} \sim 0.1\, E_{atom}$$

(٢-٣) الهياكل الكبيرة Macrostructures

الاجسام الصلبة Solid bodies

عندما نبحث المواد بصورة اجمالية فان العامل الحيوي هو الحرارة . لان الحرارة تحدد فيما اذا كانت المادة صلبة ، سائلة او غازية . وفي درجة الحرارة T فان معدل الطاقة الحرارية للجزيئة هي KT ~ ، لذا فان متطلبات الصلابة هي $KT \leqslant 0.1\, E_{atom}$ واذا تم الافتراض بان الطاقة المقيدة الجزيئية هي ناجمة عن بقايا حوالي ١٠٪ من الطاقة الذرية المقيدة وباستعمال العلاقة (٢-٣) فان المرء يجد $T \leqslant 10^4$ K . لذا فان هنالك الكثير من الفرص في عالمنا ، ذي الخلفية الحرارية القليلة 3 K ، لتكوين العناصر الصلبة .

وعندما تتراص الذرات بمجموعات معا ، فان القوى بين الذرية مماثلة للطاقة المقيدة للالكترونات المحيطة الخارجية وفي حالات عديدة مثل البلورات المعدنية ، فيبدو اكثر دقة ان نتصور هذه الالكترونات المحيطة الخارجية منفصلة نهائيا عن الذرات وتتجول بحرية في مجمل المادة . وفي اية حال فان خاصية الصلابة للعناصر المألوفة ، يمكن ان تعزى بصورة رئيسة الى الالكترونات .

ان المواد العيانية (التي ترى بالعين المجردة) سوف تكون بحالة كثافة معينة بسبب موازنة القوى . ان قوى الكهرومغناطيسية والجاذبية تحاولان ضم المواد معا ، الا ان هذا الضغط نحو الداخل سوف يتوازن بضغط نحو الخارج ، ناجم في حالة الاجسام الصلبة عن مبدأ الاستبعاد للعالم بولي « Pauli Exclusion Principle » ان

هذه القاعدة تنص بانه لايمكن لاي من الكترونين ان يكونا في حالة واحدة . والتي تعني بصورة تقريبية بان هناك نوعاً من التنافر الذي يعمل على تباعد هذه الالكترونات وان هذه الخاصية هي مستقلة بصورة مطابقة عن التنافر الكهربائي . ولاجل توضيح مبدأ بولي Pauli بصورة عملية ، فاننا سوف نبحث مسألة اولية بعد واحد . لنفترض ان الكترونا واحدا قد احتجز في صندوق صلب ذي طول L ، فاستنادا الى نظرية الكم فان تصرف الالكترون يمكن ان يوضح على شكل موجة ، وان طول هذه الموجة له علاقة بزخم الالكترون P كما هو مبين في العلاقة (١-٨) ويسبب كون الالكترون محتجزا بصورة كاملة داخل الصندوق فان سعة الموجة خارج الصندوق هي صفر . اي ان الموجة يجب ان تتلاشى في نهايتي الصندوق لكي تبقى مستمرة ، لانها لا تتمكن من ان تنفذ الى المجالات خارج الصندوق . ان اطول موجة ولذلك اصغر زخم سوف يتم الحصول عليه عندما ينطبق نصف الموجة تماما مع الطول L اي ان $L = \lambda/2$ (انظر الشكل ٨) وان الكترونا بهذه الحالة الاساسية

يمتلك الحد الادنى من الطاقة الحركية الممكن الحصول عليها وقدرها

$$E = p^2/2m_e = h^2/8m_eL^2$$

Structural feature	Mass (kg)	Characteristic time (s)
Spacetime foam	10^{-8}	10^{-43}
Elementary, structureless particles	?	$< 10^{-26}$
Union of quarks	10^{-27}	10^{-24}
Union of nuclear particles	10^{-25}	10^{-23}
Nucleus and electrons	10^{-25}	10^{-16}
Union of atoms	10^{-20}	10^{3}
Complex order	10^{-10}	10^{3}
Intelligent organization	10^{2}	10^{9}
Social order	10^{11}	10^{9}
Irregular	10^{12}–10^{13}	—
Gravitationally dominated	10^{24}	10^{4}
Nuclear reactions	10^{30}	10^{17}
Star and planets	10^{30}	10^{8}
Gravitationally bound	10^{35}	10^{15}
Nucleus and spiral arms	10^{41}	10^{16}
Largest known structure	10^{43}	10^{17}
Uniformity	10^{53}	10^{18}

الجدول رقم (٤) مقاييس الهيكل

يبين الجدول الخطوات الرئيسية في التسلسل الهيكلي المكون لكوننا الطبيعي . ان الارقام المدرجة مقربة الى اقرب اس للعشرة وان الزمن المميز تم اختياره ليكون اقصر فترة التي يتمكن النظام ان يرسل خلالها المعلومات الملموسة او يخضع لتغييرات هيكلية جذرية وبالنسبة للعوامل الاربعة الاولية المدرجة فأن ذلك يعني زمن انتقال

Table 4. *Scales of structure*

System	Size (m)
Quantized gravity	10^{-35}
Quarks, leptons	$< 10^{-18}$
Nuclear particles	10^{-15}
Nucleus	10^{-14}
Atom	10^{-10}
Biological molecule	10^{-7}
Living cell	10^{-5}
Advanced life form	1
City	10^{4}
Mountain, asteroid	$10^{4}-10^{5}$
Planet	10^{7}
Star	10^{9}
Planetary system	10^{11}
Star cluster	10^{18}
Galaxy	10^{21}
Cluster of galaxies	10^{23}
Universe	10^{26}

الضوء عبر النظام . وبالنسبة للانظمة البايولوجية او الاجتماعية فأن الزمن هو زمن التكاثر او زمن النمو . وبالنسبة للنجوم فقد تم اعطاء معدل العمر . اما بالنسبة الى الانظمة الاخرى المقيدة بالجاذبية فقد تم ادراج الزمن للسقوط الحر (بصورة تقريبية . الزمن اللازم للانهيار تحت تأثير جاذبيته الذاتية) لانه مناسب اكثر . ان الزمن المدرج بالنسبة للذرة هو زمن مدار الالكترون . ان آخر زمن مدرج يشير الى عمر الكون .

وبسبب مبدأ پولي Pauli ، اذا وضعنا الكترونا ثانياً داخل الصندوق (ونهمل التنافر الكهربائي بينهما) فلا يمكن له ان يستقر ايضا في هذه الحالة الاساسية وبدلا من ذلك فان الحد الادنى من الطاقة الممكن الحصول عليها سوف تحدث عند الحالة المثارة الاولى ، ويتم التوصل الى ذلك عندما تنطبق موجة كاملة على الطول L داخل الصندوق وفي هذه الحالة $\lambda = L$ وان الطاقة $E = 4 \times (h^2/8\,m_eL^2)$ اذا استمررنا بهذه الطريقة فان الالكترونات المتتالية يجب ان تحتل مستويات اعلى واعلى من الطاقة والتي تنطوي على امواج ذات اطوال اقصر واقصر . وان الالكترون ذا العدد K سوف يمتلك طاقة قدرها $K^2h^2/8\,m_eL^2$

واذا كان عدد الالكترونات الكلي هو N فان الطاقة الكلية يمكن ان تستخرج بجمع الطاقة $K^2h^2/8\,m_eL^2$ للعدد K المستمر من واحد الى N . وان النتيجة في حالة كون N كبيرا فان الطاقة بصورة تقريبية هي $N^3h^2/24\,m_eL^2$ لذا فان معدل الطاقة للالكترون الواحد هي $N^2h^2/24\,m_eL^2$ واذا عبرنا عن ذلك بمصطلح الكثافة العددية للالكترونات n اي الالكترونات لكل وحدة طول في هذه الحالة ذات البعد الواحد فان مبدإ الاستبعاد (پولي Pauli يتطلب ان يكون لكل الكترون معدل طاقة تقدر بـ n^2h^2/m_e . وان هذا التأثير التنافري يشار اليه اعتياديا بالضغط الانحلالي للالكترون .

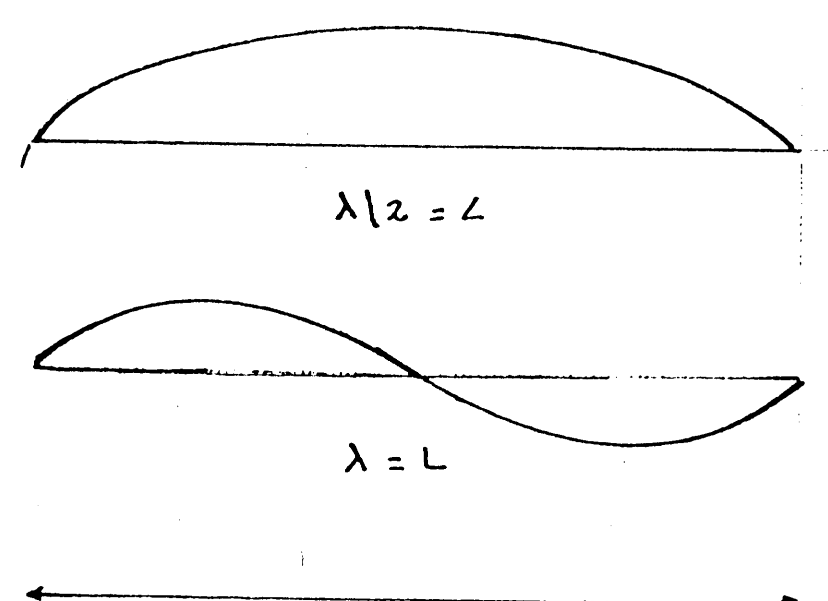
degeneracy pressure

واذا انتقلنا الى الابعاد الثلاثة فان النتيجة هي نفسها بحدود عوامل عددية صغيرة ، فيما عدا اذا كان n الان هو الكثافة العددية للالكترونات لكل وحدة حجم فيجب ان نستبدل n^2 بـ $n^{2/3}$ لذا

$$E_{\text{degeneracy}} \sim n^{\frac{2}{3}}h^2/m_e. \qquad (2.5)$$

وفي جسم صغير ، حيث يمكن اهمال تأثير الجاذبية ، فان هذا الضغط الانحلالي سوف تتم موازنته بواسطة قوى الجذب الكهربائية بين الالكترونات والنواة ذات الشحنة الموجبه في هذه المواد . ان التأثيرين سوف يكونان في حالة التوازن عندما تكون

طاقة الجاذبية للالكترون مقاربة الى طاقة الانحلال Edegeneracy . وفي حجم ما من مادة متعادلة كهربائيا . فان كل الكترون سوف يكون مقرونا بعدد مساوٍ ومعاكس من الشحنة الموجبة من الخلية . واذا كان معدل البعد بين الالكترونات والنواة هو في حدود ao (المعطى في المعادلة ٢ ـ٢) فـان مقدار الـطاقة الكهـروستاتيكيـة لكل الكترون سوف تكون حوالي $e^2/4\pi\varepsilon a_0$ بسبب ان كل زوج متجاور متجاذب من



الشكل رقم (٨)

الامواج في صندوق . ان هذا المثال ذو البعد الواحد ، يبين كيف ان موجة محتجزة ضمن صندوق ذي طول L يمكنها فقط من اتخاذ طاقم متحفظ من اطوال الموجات λ = 2L, λ= L, λ = 3L/2 وهكذا ، وبسبب مبدأ پولي Pauli Principle فان موجات الالكترون في مثل هذا الصندوق يجب ان تتخذ الاشكال المتتالية للموجات كـل بدوره . ولا يمكن لالكترونين ان يتخذا نفس شكل الموجة (لقد تم اهمال دوران الالكترون) .

الشحنات سوف يعادل بصورة تقريبية قوى جسيمات هذا الزوج الواحدة الاخرى على بقية جسيمات المادة . واذا كان معدل البعد هو ao فان العدد الكلي للالكترونات في وحدة واحدة من الحجم n هي $1/ao^3$ بحيث يمكننا ان نكتب

$$E_{\text{electric}} \sim e^2 n^{\frac{1}{3}}/4\pi\varepsilon. \qquad (2.6)$$

وينتج عن مساواة العلاقتين (٢-٥) و (٢-٦) الكثافة العددية $n = e^6 m_e^3/64\pi^3\varepsilon^3\hbar^6$ ولاجل ان نحول n الى كثافة كتلية فاننا نلاحظ معظم كتلة جسم صلب هي ناجمة عن النواة والتي تكون ذات كثافة عددية قدرها n ايضا . واذا اخذنا الكتلة النووية على انها بضع مرات الكتلة mp واذا اهملنا الكسور بحدود العدد واحد فاننا نحصل على الكثافة الكتلية

$$\text{mass density} \sim e^6 m_e^3 m_p/64\pi^3\varepsilon^3\hbar^6 \sim m_p/a_0^3 \sim 10^3 \text{ kg m}^{-3}$$

والتي هي قيمة واقعية جدا .

الكواكب السيارة

plants

ينبغي ان تعدل الحسابات اعلاه اذا كان الجسم المعني ذا كتلة كبيرة لدرجة تصبح عندها الجاذبية مهمة . فبالرغم من ان القوى التجاذبية بين الذرات المنفردة هي اضعف تقريبا بـ 10^{40} مرة من التأثيرات الكهربائية او تأثيرات الانحلال . فان الجاذبية على عكس الكهربائية لايتم تعادلها بواسطة الجسيمات المجاورة لذا فانها تتراكم مع زيادة عدد الجسيمات N . وبالنسبة الى جسم كروي ذي كتلة M ونصف قطر R فان الطاقة التجاذبية هي :

$$\sim -GM^2/R \sim -GA^2 m_p^2 N^2/R.$$

حيث ان A هو الوزن الجزيئي للمادة ، وبالنسبة الى الاجسام الصلبة الكبيرة مثل الارض فان A قد يكون كبيرا بصورة ملحوظة لذا فاننا ندرجه خصيصا كعامل اضافي هنا . وان ذلك يصبح مقاربا للتأثيرات الكهربائية والانحلالية عندما تكون

$$GA^2 m_p^2 N^2/R \sim Ne^2/4\pi\varepsilon a_0$$

او عندما تكون

$$R \sim N a_0 A^2 (4\pi\varepsilon G m_p{}^2/e^2). \qquad (2.7)$$

ان الكمية $4\pi\varepsilon G m_p^2/e^2$ هو رقم بدون وحدات وله اهمية اساسية ، انه نسبة قوة التجاذب الى القوة الكهرومغناطيسية بين البروتونـات . وبصورة مماثلة الى ثابت الهيكل الدقيق (١-١١) للقوة المغناطيسية ، فاننا نقدم ثابتا تجاذبيا للهيكل الدقيق يعرف بما يلي :

$$\alpha_G \equiv G m_p{}^2/\hbar c \simeq 5 \times 10^{-39}. \qquad (2.8)$$

ان هذا الرقم الاساسي ، عديم الوحدات ، سوف يعود بصورة متكررة في الاقسام التالية وباستعمال مصطلحات α_G , α تصبح المعادلة (2.7)

$$R_{\text{planet}} \sim (\alpha/\alpha_G)^{\frac{1}{2}} a_0/A, \qquad (2.9)$$

حيث تم استعمال العلاقة $N \sim R^3/a_0{}^3$.

وبالنسبة لجسم كثيف نوعا ما فان $A \simeq 50$ لذا

$$R_{\text{planet}} \sim 10^7 \text{ m}$$

وان هذا الرقم مقارب الى نصف قطر الارض . ويمكننا الاستنتاج بانه بالنسبة لمثل هذا الجسم فان القوى التجاذبية سوف تسبب تحويرات مهمة للهيكل الصلب للمادة وسوف ينتج عن ذلك حالات انضغاط وتسييل ملموستين وان ذلك بالطبع هي الحالة بالنسبة للارض .

ان التعجيل بسبب الجاذبية على سطح الجسم هـو

$$g = GM/R^2. \qquad (2.10)$$

اذا حدث نتوء (جبل) ذو ارتفاع «H» على السطح فانه سوف يمارس ضغطا على قاعدته ، واذا كان هذا الضغط قويا بالدرجة الكافية ، فانه سوف يصهر المادة تحت القاعدة ، مما يمكن الجبل من ان يغطس . ان الطاقة الكامنة المتوفرة هي $HAm_p g$ لكل جزيئة ، واذا اصبحت تلك الطاقة جزءا ملموسا مثلا من الطاقة المقيدة الجزيئية للمادة الكامنة عند القاعدة ، فأن الانصهار سوف يحدث . وسوف يحاول هذا الجسم بصورة تلقائية اتخاذ شكل كروي مثل الارض ، لذلك فـان الارتفاع

الاقصى للجبل هو

$$H_{max} \sim (10^{-2} e^4 m_e / 16\pi^2 \varepsilon^2 h^2)/(GMm_p A/R^2)$$
$$\sim 10^{-2} (\alpha/\alpha_G)(a_0{}^2/A^2 R), \qquad (2.11)$$

حيث قد استعملنا العلاقة (٢-٤) والحقيقة بأن $M \sim Am_p R^3/a_0{}^3$.

واذا عوضنا $R = R_{planet}$ من العلاقة (٢-٩) ه

$$H_{max} \sim 10^{-2} R_{planet} \qquad (2.12)$$
$$\sim 10^5 \text{ m},$$

وهو تقدير معقول جدا . ان اكبر جبل للارض هو اقرب 10^{-3} R planet والذي هو بوضوح اقل بكثير من Hmax . ان اكبر جبل في المريخ هو اقرب نوعا ما الى Hmax . ويمكن ان يتكون جسم ذو شكل غير منظم (شاذ) اذا كانت كتلته اقل نوعا ما من كتلة الكوكب السيار . وسوف تصبح هذه الاشكال غير المنتظمة كبيرة ، عندما يكون ارتفاع (جبل) «H» مقاربا الى معدل نصف القطر «R» . وان مثل هذا الهيكل يمكن تحمله فقط في حالة كون HAmpg ≤ 0.1 Emol . وبأستعمال العلاقتين (٢-٤) و (٢-١٠) ووضع H ~ R ينتج عن ذلك .

$$R \lesssim 0.1 R_{planet} \sim 10^6 \text{ m}.$$

ان الاجسام ذات الاشكال غير المنتظمة الاقل حجما من هذا الجسم معروفة جيدا في المجموعة الشمسية كالكويكبات السيارة .

النجوم Stars

ان التحليل المقدم اعلاه للكواكب السيارة قد اهمل تاثيرات الطاقة الحرارية . ان جسما كبيرا جاذبا يولد ضغطا على المادة المركزية الوسيطة مما يسبب في رفع درجة الحرارة الداخلية . واذا ارتفعت درجة الحرارة هذه الى بضعة ملايين درجة فان التفاعلات النووية سوف تبدأ وان هيكل الجسم سوف يتغير بصورة جذرية . وفي درجات الحرارة هذه فان الجسم سوف يكون غازيا بدلا من صلب وان التفاعلات

النووية سوف تجعله يشع بغزارة . وسيكون هذا الجسم نجمة .

وسوف تبقى كرة من الغاز ذات نصف قطر R في حالة توازن اذا كانت جاذبيتها الذاتية متعادلة مع الجهود المجتمعة لضغطها الداخلي الحراري وضغطها الانحلالي الالكتروني وستحدث هذه الحالة اذا كانت الطاقة التجاذبية لكل جسيم هي مقاربة للطاقة الحرارية KT ، مضافا لها الطاقة الانحلالية . ان العلاقة (٢-٥) تعني بالنسبة الى غاز الهيدروجين .

$$kT + N_*^{2/3}\hbar^2/m_e R^2 \sim GMm_p/R \sim Gm_p^2 N_*/R, \quad (2.13)$$

حيث ان N_* هو العدد الاجمالي للبروتونات في النجمة .

وعندما تكون الكثافة واطئة (عندما يكون R كبير) فان الحد R^{-2} سيكون صغيرا اي ان الضغط الانحلالي يمكن اهماله لذا فان درجة الحرارة $T \propto R^{-1}$ ، وهذه هي الحالة عندما تتولد النجمة للمرة الاولى من الغيوم الغازية المنكبسة ببطء ، وفي الامد الطويل ويتقلص نصف القطر فان حد الضغط الانحلالي يصبح مهما ، وتصل درجة الحرارة حدها الاعلى عندما يكون

$$Gm_p^2 N_*/R - N_*^{2/3}\hbar^2/m_e R^2$$

بقيمته القصوى ، ويحدث ذلك عندما يصبح $R = 2\hbar^2/Gm_p^2 m_e N_*^{1/3}$.

ولهذه الحالة فان درجة الحرارة تحدد بـ

$$kT_{max} \sim (Gm_p^2/\hbar c)^2 N_*^{4/3} m_e c^2. \quad (2.14)$$

ولاجل ان يصبح الجسم نجما اعتياديا يجب ان تكون T_{max} عالية بالقدر الكافي لحدوث التفاعل النووي ، وتعتمد درجة الحرارة المطلوبة ، على تفاصيل القوة القوية والقوة الكهرومغناطيسية والتي تشكل الحاجز النووي الكامن الواجب اختراقه من قبل البروتونات المثارة حراريا .

ولاول وهلة ، يبدو ان تحقيق ذلك يتطلب درجة حرارة $kT \sim 10m_e c^2$ (الطاقة المنبعثة خلال عملية الالتحام) الا انه في الواقع ، يمكن ان يحدث الاختراق النووي عند درجات حرارة اوطأ بكثير من تلك الحرارة بسبب تأثير النفق الكمي

والحقيقة المتمثلة بانه عند اية درجة حرارة فان طاقات البروتون المنفردة تكون موزعة على مدى واسع لذا فان البعض منها سوف يمتلك طاقات اكبر بكثير من معدل الطاقة للبروتون الواحد . وفي القسم (٢-٣) سوف يتبين بان

$$kT \sim 10^{-2} m_p e^4/16\pi^2 \varepsilon^2 \hbar^2.$$

ويمكننا استعمال هذه المعلومات لاجل استنباط العدد الادنى من البروتونات في اية نجمة . فمن العلاقة (٢-١٤) اذا وضعنا

$$kT_{max} \sim 10^{-2} m_p e^4/16\pi^2 \varepsilon^2 \hbar^2$$

فان المرء يحصل على

$$(10^{-2}\alpha^2 m_p/m_e)^{\frac{3}{4}} \alpha_G^{-\frac{3}{2}} \sim 0.1\alpha_G^{-\frac{3}{2}} \sim 10^{56} \qquad (2.15)$$

ونصف قطر متناظر :

$$R_{min} \sim \alpha_G^{-\frac{1}{2}} \alpha a_0 \sim 10^{18} a_0 \sim 10^8 \text{ m.} \qquad (2.16)$$

ان ذلك مقارن مع حجم كوكب سيار ، ولذا يمكننا ان نستنتج بانه ليس هناك تقسيم واضح يبين الكواكب السيارة الكبيرة مثل المشتري والنجوم الصغيرة . وفي الواقع ان درجة الحرارة الداخلية للمشتري يحتمل ان تكون حوالي 25000 K لقد تم اهمال تأثيرات الاشعاع في التقديرات اعلاه فهل ان ذلك معقول ؟

ان كثافة الطاقة الاشعاعية في درجة حرارة T هي aT^4 حيث ان a هو ثابت الاشعاع . $a = 8\pi^5 K^4/15 c^3 h^3$ وستكون الطاقة الاشعاعية الاجمالية داخل النجمة حوالي aT^4R^3 الواجب مقارنتها مع الطاقة الحركية للجسيمات $\sim N_* KT$ ، واذا اهملنا الضغط الانحلالي فان العلاقة (٢ -١٣) تعطينا حينئذ

$$aT^4 R^3/N_* kT \sim \alpha_G{}^3 N_*{}^2$$

والتي ستكون حوالي العدد واحد عند $N_* \sim \alpha_G^{-3/2}$ وللحالات التي تكون فيها N_* اكبر من هذه القيمة فسوف يسيطر الاشعاع على حركات النجمة ، وان من المحتمل ان يقود ذلك الى حالات عدم الاستقرار مثل التذبذب والذي يقود في نهاية الامر الى التصدع . لذا فاننا نعتبر $\alpha_G^{-3/2}$ القيمة

القصوى لـ Nx وانها قريبة بصورة مذهشة الى القيمة الدنيا لـ Nx المعطاة بالعلاقة (٢ ـ ١٥) ولذلك فانها تحدد مدى ضيقا نوعا ما للقيم الممكنة بحوالي $10^{57} \sim \alpha_G^{-3/2}$ ومن هذه الافكار الاولية يمكن ان يستنتج المرء بان عدد الجسيمات المحتواة في نجمة مثالية بالمعادلة المذهلة ببساطتها .

$$N_* \sim \alpha_G^{-\frac{3}{2}}. \qquad (2.17)$$

وان الكتلة تعطى بصورة تقريبية بالعلاقة

$$M_* \sim N_* m_p \sim \alpha_G^{-\frac{3}{2}} m_p. \qquad (2.18)$$

ومهما تكن الحالات داخل النجمة فان مانراه في الواقع هو سطحها . وان العامل الاكثر اهمية بالنسبة للسطح هو السطوع «L» . ويعرف بانه جريان الطاقة الى الفضاء بشكل اشعاع لكل وحدة زمن . واذا كانت النجمة ثابتة وفي حالة مستقرة فمن الواضح ان معدل فقدان الطاقة من السطح يتوازن بدقة مع معدل الطاقة المولدة في الداخل ان معدل الطاقة المولدة في الداخل يتحدد بدرجة الحرارة الداخلية Tc ، والتي تنظم معدل الاحتراق النووي في جوف النجمة . وسوف يكون هناك تدرج حراري بين الجوف والسطح الا ان الطاقة الاشعاعية الكلية المحتواة في النجمة يمكن الحصول عليها بصورة تقديرية لاقرب قوة للعشرة عندما نضع $T = T_c$ في المعادلة aT^4 R^3 المستعملة اعلاه ، يحدد السطوع عندئذ بمحتوى الطاقة مضروبا بمعدل هجرة الطاقة من النجمة الى الخارج . وبلغة الكم فان تلك هي طاقة جمع الفوتونات في النجمة مقسمة على زمن انتشار الفوتون داخل النجمة .

ان الفوتونات المتولدة داخل النجمة لاتنفذ بسهولة خلال المادة النجمية غير الشفافة (منفذة) جدا . وبدلا من ذلك تنتقل الفوتونات مسافات قصيرة فقط قبل ان تتبعثر بعيدا عن الايون او الالكترون . وبالنسبة لنجمة معتدلة الحجم فان خاصية عدم الشفافية (اللانفاذية) هذه تتسبب بصورة اساسية من الالكترونات الحرة . واذا اهملنا ارتداد الالكترون (ان طاقة الفوتون واطئة نسبيا في الطبقات الخارجية من النجمة حيث تكمن معظم المادة النجمية) فان المقطع العرضي

للانتشار يعطي بمعادلة ثومسون Thomson

$$\sigma = e^4/16\pi^2\varepsilon^2 m_e^{\,2} c^4. \tag{2.19}$$

وان معدل المسافة المقطوعة من قبل فوتون نموذجي قبل التبعثر هي اذن :

$$\bar{l} \simeq 1/n_e\sigma, \tag{2.20}$$

حيث ان ne هي معدل الكثافة العددية للالكترونات والتي ستكون بصورة تقريبية معدل كثافة البروتونات او حوالي N/R^3 لذلك

$$\bar{l} \sim 16\pi^2\varepsilon^2 m_e^{\,2} c^4 R^3/Ne^4. \tag{2.21}$$

واذا كان الفوتون حرا في التحرر فانه سوف يستغرق زمنا قدره R/C للوصول الى السطح . وبدلا من ذلك وبسبب كونه معاقاً من قبل الالكترونات ، فانه يتخذ مسارا عشوائيا داخل النجمة ويتخلل الى السطح بـالصدفـة ويزداد زمن التحـرر بالمعامل (R/T) لذلك فان السطوع هو

$$L \sim a\,T_c^4 R^3 / (R/c)\,(R/\bar{l}\,)$$

ويعاد التعبير عن ذلك عادة بمصطلح اللاشفافية (اللانفاذية) للمادة النجمية المعرفة بـ (الكثافة الكتلية X $K \equiv \bar{l}$/X) واذا استعملنا الحقيقة بان الكثافة الكتليـة هي ~ M/R^3 يجد المرء

$$L \sim acT_c^4 R^4/\kappa M, \tag{2.22}$$

والتي هي بجوهرها (الطاقة الاشعاعية الاجمالية المتوفرة زمن التسرب من النجمة) وينتج تعبير بديل للسطوع من ملاحظة ما قد تم بيانه اعلاه من ان كثافة الـطاقة للاشعاع في نجمة مثالية لا تختلف كثيرا عن الطاقة الحرارية للجسيمات . واذا اهملنا تأثيرات الانحلال فان العلاقة (٢-١٣) تظهر بان طاقة التهيج الحـرارية KT هي تقريبا نفس الطاقة المقيدة التجاذبية لكل جسيم . وبدمج هاتين المتساويتين (بصورة تقريبية) ينتج بان الطاقة الاشعاعية الاجمالية ~ الطاقة التجاذبية المقيدة الاجمالية او ان

$$aT_c^4 R^3 \sim GM^2/R. \tag{2.23}$$

وباستعمال العلاقة (٢-٢٣) لحذف aT_c^4 من العلاقة (٢-٢٢) فان المرء يصل الى ما يدعى بسطوع ايدنكتون Eddington

$$L \sim GMc/\kappa. \qquad (2.24)$$

وبالنسبة لهدفنا ، فمن المناسب ملاحظة الاعتماد القاطع للسطوع L على الشحنة الكهربائية e ، لذا فاننا نستعمل العلاقة (٢-٢١) لحذف K من العلاقتين (٢-٢٢) و (٢-٢٤) وان التعبيرين للسطوع يصبحان :-

$$L \sim 16\pi^2\varepsilon^2 a T_c^4 R^4 m_e^2 c^5/Ne^4 \qquad (2.25)$$

$$L \sim 16\pi^2\varepsilon^2 G M m_p m_e^2 c^5/e^4 \qquad (2.26)$$

على التوالـــي .

ان خاصية مهمة اخرى للنجمة هي عمرها ، ان نظرة عابرة الى السماء تولد الانطباع بكون ثابت غير متغير وفيما عدا حالات النجوم المستعرة او المتغيرة فان النجوم تبدو وكأنها لا تتغير من قرن الى القرن التالي . وبالاخص فقد ظلت الشمس مستقرة ، وتغير سطوعها بصورة قليلة جدا على مدى ٤ بلايين سنة . ان ذلك معروف بسبب وجود دلائل للحياة على الارض ، تعود الى ما قبل اكثر من ثلاثة بلايين سنة ، فقط تواجدت المحيطات المائية على الارض للقسم الاعظم من تاريخ المجموعة الشمسية والتي تعني وجود تحديدات ضيقة نوعا ما على تغيير درجة حرارة وسطوع الشمس .

ان الحقيقة المتمثلة بمعيشتنا في بيئة مستقرة لهذا الامد الطويل هو نتيجة لعدم قيام الشمس بأستهلاك وقودها الهيدروجيني بسرعة كبيـرة غير منـاسبة . وعنـدما يستنفذ هذا الوقود (في زمن ٥ بلايين سنة تقريبا) فسوف تباشر الشمس بمسيرة غير منتظمة تقودها في النهـاية الى الانهيـار الى نجوم صغيـرة مبعثرة عنـدما لا تتمكن التفاعلات النووية من ادامة الشمس بعد ذلـك الوقت . وتتميـز معظم النجـوم الاخرى بخواص مماثلة .

ان معدل الاستهلاك للوقود داخل النجمة يعتمد على سطوع النجمة والذي بدوره يعتمد على كل من قوة الجاذبية (بواسطة G) والكهرومغناطيسية (بواسطة

عدم شفافية المادة النجمية ولذلك e) ويحدد عمر النجمة بصورة تقريبية بأجمالي احتياطي الطاقة مقسوما على معدل استهلاك الطاقة L ، ان الكمية الاولى تحتسب من حقيقة ان انصهار الهيدروجين الى عناصر اثقل والتي تمثل مصدر الحرارة النجمية يتسبب في اطلاق حوالي ١٪ من الكتلة السكونية لكل بروتون . واذا تم استهلاك كل الهيدروجين في النجمة بهذه الطريقة فأن كمية تقدر بحوالي $10^{-2}\ mc^2$ سوف تتحرر . وباستعمال العلاقة (٢-٢٦) ينجم عن ذلك ان عمر النجمة سيكون حوالي

$$tx \sim 10^{-2}\, e^4/16\pi^2\, G\, me^2\, mpc^3$$

ويمكن صياغة العلاقة بصورة مناسبة اكثر بأستعمال زمن القياس النووي

$$tN \sim h/mpc^2$$

$$t_* \sim [10^{-2}\alpha^2(m_p/m_e)^2]\, t_N \alpha_G^{-1}. \qquad (2.27)$$

ان الكمية داخل القوس الكبير هي حوالي العدد واحد لذا

$$t_* \sim \alpha_G^{-1} t_N \sim 10^{40} t_N. \qquad (2.28)$$

ومرة اخرى فأننا نجابه الرقم « السحري » 10^{40} ~ واذا اعدنا العلاقة (١-١٥) يمكننا كتابة

$$t_*/t_P \sim (t_N/t_P)^3. \qquad (2.29)$$

اضافة الى ذلك فاننا نجد

$$t_* \sim t_H, \qquad (2.30)$$

والتي تعني بأن عمر نجمة نموذجية مقارب لعمر الكون الحالي وان هذا هو صحيح . وبأستعمال العلاقة (٢-١٨) فأن المرء يحصل على علاقة اخرى

$$M_*/m_p \sim t_*/t_P. \qquad (2.31)$$

ويظهر من المناقشات السابقة بأنه لو كانت الجاذبية اقوى فأن النجوم سوف تحترق بصورة اسرع . ان زيادة في G بمعامل 10 سوف تغير كليا هيكل النظام الشمسي عبر مقياس الزمن لتاريخها الحالي . ان الارض مثلا سوف لن تكون موجودة بسبب كونها قد تبخرت عندما اقتربت الشمس من مرحلة العملاق الاحمر في

نهاية استهلاكها للهيدروجين .

ان الضعف المتناهي للجاذبية هو مظهر ملحوظ للطبيعة ، ان الجاذبية داخل ذرة الهيدروجين هي حوالي 10^{40} مرة اضعف من الكهرومغناطيسية . ونرى الان بأن هذا العدد له تأثير مباشر على عمر النجمة . وباختصار ان مقياس الزمن الطويل جدا اللازم لاجل حدوث تغيير كوني رئيسي ، هو ناجم بصورة مباشرة عن ضعف الجاذبية .

(٢ـ٤) الهيكل الكوني Cosmic Structure

ان الهياكل الاكثر بروزا فوق مستوى النجوم هي المجرات (مجموعة النجوم) وتعتبر مجرة « الطريق اللبني » والتي تحتوي على حوالي 10^{11} نجمة ، ولها كتلة مقاربة الى كتلة الشمس Ms مجرة نموذجية . وكما تم ملاحظته في القسم (١ ـ١) فان المجرات تجمع نفسها معا في مجاميع ذات كتلة اجمالية قدرها حوالي 10^{14} Ms وحجم حوالي 10^{23} m .

وعلى نقيض الهياكل التي تمت دراستها في الاقسام (٢ ـ٢) و (٢ ـ٣) يبدو انه من غير الممكن ان نفسر حجوم او كتل المجرات او عناقيد المجرات على اساس الثوابت الضعيفة البسيطة وحدها . وعندما تم تثبيت نظرية الانفجار الكبير لاول مرة ، كان من المؤمل تفسير وجود المجرات بالطريقة التالية : لقد افترض ان تكون غازات الادوار الكونية الاولى المنبعثة عن الانفجار الكبير منتشرة بصورة منتظمة خلال الفضاء ، بانتشار الكون فان الكثافة المحلية للغاز تناقصت بصورة مستمرة .

وفي بعض المناطق ضمن هذه المادة الغازية ، فان التغييرات الاحتمالية سوف تسبب كثافات اكثر قليلا في بعض المناطق وكثافات اقل في مناطق اخرى ، وتلك هي نتيجة خالصة للاضطرابات العشوائية التي لولاها لما كان انتشار الغاز منتظما . ان المناطق ذات الكثافة الاكثر سوف تبذل جهدا جاذبيا اكثر بقليل على المواد المحيطة بها ، وبذلك تحاول تجميع مواد اكثر من بيئتها ، لذا فان هناك اتجاه طبيعي لنمو

الاضطرابات في الكثافة مع الزمن ، وقد تتكون المجرات بهذه الطريقة في نهاية المطاف .

ان عملية نمو المناطق الاكثر كثافة عليها ان تتنافس مع الانتشار الكوني الواسع وان الانتشار يحاول ان يقلل كثافة الغاز في حين الاضطرابات في الكثافة تعمل على الحد من الانتشار المحلي . ان نتيجة هذا التنافس هو ان المناطق الغازية الاكثر كثافة لا يمكنها ان تنمو الا بصورة بطيئة جدا وان هذا النمو هو بطء الى درجة لايمكن معها تفسير تواجد المجرات في الزمن المتاح منذ بدء الخليقة .

ان احدى الطرق لتفادي هذه المشكلة هو افتراض تواجد شواذ شديد في توزيع الكثافة منذ البداية وان قدرا قليلا من التقوية هو ضروري خلال الانتشار التالي . وفي الوقت الذي يفسر هذا الافتراض بدون شك تواجد المجرات فانه يعني بان على المرء ان يقبل بفكرة تواجد شواذ مناسبة الزامية في توزيع كثافة الغاز منذ البداية . وان هذه الشواذ كانت بمقياس مناسب من الحجم وبدرجة عالية من الكثافة تسمح بتكوين المجرات وفي نفس الوقت فانها غير عالية لدرجة بحيث تؤدي الى الانهيار التجاذبي نحو التجاويف السوداء .

لذا فان هذا التفسير للمجرات وعناقيد المجرات يعتمد على الحالات الاولية للكون بدلا من الثوابت الاساسية .

ولو تغيرت هذه الحالات بالحجم او درجة عدم الانتظام فان النظام الكوني على المقاييس الكبيرة سوف يكون مختلفا جدا .

وينبغي ملاحظة انه قد تم البحث عن اصل الاضطرابات في الكثافة في تفاصيل المادة الكونية خلال الحقبات الاولية جدا (الزمن اقل من ثانية واحدة) وقد تم اقتراح العديد من الطرق التي تنطوي على قوى اخرى بدلا من قوى الجاذبية . فمن الممكن التصور بان العمليات الهادرونية Hadronic قبل 10^{-6} ثانية يمكن ان تكون قد ادت الى تكتل المادة الكونية في فقاعات كروية ذات كتل توازي كتل المجرات . ولسوء الحظ فان هذه الحقبات الاولية هي مفهومة بصورة سيئة لدرجة

تجعل اية محاولة لتفسير اصل المجرات بالاستناد على فيزياء ذلك الزمن ، من قبيل الرجم بالغيب . وسوف نعود الى هذا الموضوع بتفصيل اكثر في الفصل القادم .

ان اكبر مقياس للهيكل ، هو بطبيعة الحال ، الكون نفسه . وكما تم شرحه في القسمين (١ - ١) و (١-٥) فان التجانس الكوني الدقيق للغاية غير المتوقع على المقاييس الكبيرة جدا ، يمكننا ان نميز التصرف الاجمالي للكون بمعامل قياس واحد a (t) ، ويمكننا ان نستخرج من هذا المعامل مقياسا زمنيا خاصا هو زمن هبل $t_H \equiv a/\dot{a}$ Hubble المقارب الى عمر الكون . $t_H \equiv a/\dot{a}$

ان عاملا حركيا اخر ذا اهمية في هذا المجال هو معدل تباطؤ انتشار الكون وكما تم شرحه في الفصل (١) فان هذا التباطؤ يتولد بسبب السحب التجاذبي لجميع المجرات والمواد الكونية الاخرى . لذلك فان قوة هذا السحب التجاذبي تعتمد على طبيعة المادة المتجاذبة . وبالنسبة للمادة الاعتيادية فان العلاقة (١-١٦) تنطبق عليها . في حين ان كونا يهيمن عليه الاشعاع ، تكون العلاقة (١-١٧) مناسبة بصورة اكثر . وفي الفصل الرابع سيتم تحليل الحركة الكونية بتفصيل اكثر حيث سيتم بيان ان اعتبارات اخرى يمكن ان تؤثر ايضا على صيغة a (t) .

ومهما ادرجنا من تأثيرات لغرض تحديد a (t) فان التباطأ الفعلي يمكن ان يوصف بالمعامل .

$$q = -\ddot{a}a/\dot{a}^2 \qquad q = -\ddot{a}a/\dot{a}^2 \tag{2.32}$$

والذي يأخذ القيم ½ وواحدا للحالات (١-١٦) و (١-١٧) على التوالي .

ويمكن التعبير عن القوة التجاذبية للمادة الكونية والتي تحدد قيمة q جزئيا بواسطة كثافة الطاقة P للمواد المساهمة المختلفة . ان الارصادات الحالية تشير انه بالنسبة الى المادة والاشعاع الكهرومغناطيسي على التوالي

$$\rho_m \simeq 10^{-11}\ \mathrm{J\ m^{-3}} \tag{2.33}$$

$$\rho_\gamma \simeq 10^{-14}\ \mathrm{J\ m^{-3}} \tag{2.34}$$

وتتغير هذه القيم مع الزمن بموجب العلاقات (١-١٩) و (١-٢٠) ، ان كثافة الطاقة

للمادة الكونية (٢-٣٣) تشير الى الطاقة للكتلة السكونية ، حيث تعتبر هذه الكتل ، المساهم الرئيس في هذه الحقبة . وقد يتطلب الامر اعادة النظر في التقدير المقتبس اعلاه باتجاه الصعود بضوء بعض نتائج التجارب الحديثة المتعلقة بالنيوترونات انظر القسم (١-٣) .

ان النسبة Pγ/Pm تتغير مثل $a^{-1}(t)$ بسبب ان Pγ تتعرض لتخفيض اضافي بالنسبة الى Pm ، بسبب الانحراف الاحمر كلما انتشر الكون . ان نسبة الاشعاع / المادة الكونية الاكثر دلالة بكثير يمكن ان توفر بفحص كثافة الجسيم بدلا من كثافة الطاقة . وفي حالة المادة غير النسبية فان Pm تتناسب مع كثافة الجسيم ، بسبب ان معظم المادة الكونية هي بهيئة هيدروجين .

$$\rho_m \simeq m_p n_p \propto a^{-3}, \tag{2.35}$$

حيث ان np هي الكثافة العددية للبروتونات .

ومن الناحية الاخرى

$$\rho_\gamma \simeq n_\gamma h\nu \tag{2.36}$$

حيث ان nγ هي كثافة الفوتونات وان h ν هي طاقة فوتون نموذجي (انظر المعادلة (١-٧) وبانتشار الكون تنتشر مقاييس طول الموجة للاشعاع مثل a(t) ولذلك

$\nu \propto a^{-1}$

وبملاحظة ان $P\gamma \propto a^{-4}$ فأن المرء يحصل من (٢-٣٦)

$$n_\gamma \propto a^{-3}. \tag{2.37}$$

وينبع من ذلك ان nγ/np هو ثابت لا يعتمد على الزمن . وانه لذلك نسبة اساسية بدون وحدات في غاية الاهمية لعلم الكون ، وقد رمز لها بالحرف S . ومن العلاقات (٢-٣٣) و (٢-٣٤) فأن المرء يستنتج بأن

$$S \equiv n_\gamma / n_p \sim 10^9. \tag{2.38}$$

وبالرغم من ان S هو نسبة الفوتون/ البروتون خصيصا . فان هناك بدون شك مساهمين آخرين (الكرافيتونات والنيوترينوز) لمحتوى الاشعاع في الكـون

ويعتقد معظم علماء علم الكونيات بأنها مقاربة الى محتوى الفوتونات (انظر القسم ٤-٤) .

ان طريقة اخرى لتقدير المعادلة (٢-٣٣) هي ان نتخذ وحدة طبيعية للحجم ونحدد ضمنها عدد الجسيمات بدلاً من أستعمال الكثافة . وتوفر لنا العلاقة CtH مقياسا واضحا للمسافة الكونية ، وهي المسافة المقطوعة من قبل الضوء في زمن هبل Hubble واحدا . وبالنظر لان هذه المسافة هي بصورة تقريبية المسافة التي قطعها الضوء منذ خلق الكون ، فانها تمثل نوعا من الحد الاقصى للحجم الحالي لذلك الجزء من الكون الذي يمكننا ، حتى من حيث المبدأ ، ان نلاحظه . ان عدد البروتونات الواقعة ضمن نصف قطر هبل Hubble هذا من العلاقة (٢-٣٣) .

$$N \sim 10^{80}. \tag{2.39}$$

وان هذا العدد ليس باقل كثيرا من العدد الكلي للباريونات (البروتونات والنيوترونات) او حتى العدد الكلي للباريونات والالكترونات معا . لاحظ ان N هو مربع العدد واسع التكرار 10^{40} ، وتلك هي بوضوح مصادفة نادرة وسوف تناقش في الفصل (٤) .

ان العوامل H,q,S,N مجتمعة تميز الهيكل ذا المقياس الواسع للكون . ان قيمهم تحدد جزئيا بالاحوال الاولية التي كانت قد وجدت في الكون عند خلقه . وفي الاقسام التالية سوف نرى كيف ان هيكل الكون حساس جدا للقيم الفعلية التي اتخذتها هذه الارقام .



الفصل الثالث

the delicate balance

التوازن الدقيق

٣ - التوازن الدقيق

في الفصل السابق تم تبيان ان الهيكل الاجمالي للعديد من الانظمة المألوفة ، التي تم رصدها في الطبيعة تحدد بعدد قليل نسبيا من الثوابت الكونية . ولو اتخذت هذه الثوابت قيما عددية تختلف عن القيم التي تم رصدها ، فان هياكل هذه الانظمة سوف تختلف وفقا لذلك التغيير في هذه الثوابت . وان ماله اهمية خاصة في هذا المجال ، انه في حالات عديدة ، لوحدث تغيير بسيط في قيم الثوابت فسوف يحدث تغيير جذري في هياكل الانظمة المعنية ويستدل من ذلك بان نظام العالم الخاص الذي نعيبه هو ممكن فقط ، بسبب تنظيم شديد الدقة لهذه القيم . ان هذا الفصل والفصل اللاحق سوف يستعرضان بعض الامثلة الاكثر جدارة بالملاحظة .

(٣-١) النيوترينوز[١] *Neutrinos*

ان اكثر الاجسام واسعة الانتشار في الكون هي النيوترينوز . ان الابحاث النظرية تشير الى ان الانفجار الكبير قد خلق حوالي 10^9 نيوترينو لكل بروتون والكترون . وان هذه النيوترينوز تغمر الكون الان . الا ان النيوترينوز تتفاعل ببطء شديد مع المواد الكونية الاعتيادية .

ان الارض مثلا تكاد ان تكون شفافة (منفذة) تماما بالنسبة لها . لذلك فان الاعتقاد بان الكون يحتوي على خلفية هائلة من النيوترينوز الكونية ، لايمكن اثباته بصورة مباشرة بواسطة التجربة على الارض .

وبسبب العدد الهائل من النيوترينوز فان هيكل الكون على المقياس الكبير ، حساس جدا لخواصها . ومنذ زمن قريب كان من المفترض عموما بان النيوترينوز هي عديمة الكتلة بصورة ، قطعية لذلك فانها تنتقل بسرعة الضوء .

وفي عام ١٩٨٠ ، فان عددا من التجارب بدت وكأنها تشير الى ان هذا

* (١) Neutrino جسيم ذري متعادل دون كتلة الالكترون واستعملت لفظة الجمع باللغة الانكليزية Neutrinos باللغة العربية ايضا للتفريق عن النيوترونات .

الافتراض القائم منذ امد طويل ربما يكون خاطئا . ان النتائج الاولية تشير الى ان النيوترينو قد تكون له كتلة سكونية حوالي 5×10^{-35} Kgm او حوالي 5×10^{-5} من كتلة الالكترون .

وفي الحقيقة فان الحالة هي اعقد قليلا ، لان من المعروف وجود اكثر من نوعية للنيوترينو . ان علماء فيزياء الجسيمات يتصورون حاليا ثلاثة اصناف من النيوترينوز او «نكهات» (انظر الجزء (١-٤)) . وان احدى النتائج المدهشة للتجارب الحديثة هي ان النيوترينو قد يغير نكهته اثناء مداره ، وتتذبذب شخصيته بسرعة . على ما يفترض ، بين الانواع الثلاثه ان ظاهرة التذبذب لها علاقة وثيقة بالادعاء بوجود كتلة لا صفرية للنيوترينو الالكتروني على الاقل .

وبالرغم من ان كتلة 5×10^{-35} Kg هي صغيرة جدا بالمقارنة الى جميع الجسيمات المعروفة فان الكثافة العالية للنيوترينوز في الكون (حوالي 10^{9} m^{-3}) ، تعني بان كتل النيوترينوز الاجمالية ، تفوق وزن جميع النجوم . وفي الواقع ، لو حدث ان ظهرت كتلة النيوترينو مثلا 5×10^{-34} Kg بدلا من كتلتها الحالية ، فان القوة التجاذبية القائمة في الكون البدائي كانت ستسبب حينئذ تغييرا جوهريا في عملية انتشار الكون ولربما ايقاف هذا الانتشار نهائيا قبل الان . وانها لفكرة ملفتة للنظر ، بان ما قد يبدو تغيير غير جوهري في كتلة صغيرة بهذا الحد ، سوف يتسبب في حياتنا في كون منقبض بدلا من عالم منتشر .

ولو زادت كتلة النيوترينو قليلا ، لنتج عن ذلك عواقب اخرى . ان درجة الحرارة الحالية للخلفية النيوترونية ، هي حوالي 2 K ، والتي نعني ، بانه لو كانت للنيوترينو كتل ملموسة ، فان معظم النيوترينوز الكونية سوف تكون الان غير نسبية (تفوق كتلتها السكونية كتلتها الحركية) ، وفي الواقع ستكون سرعها دون سرعة

الانطلاق من مجموعة المجرات . لذلك ، فان النيوترينوزتميل الى التجمع قرب مراكز هذه المجموعات ، وتكون نوعا من الضباب الكثيف ، والتي تقوم مجموعة المجرات بالحركة بصعوبة خلاله ، عند حركتها المدارية ضمن المجموعة وضمن دورانها الذاتي . وبالرغم من ان النجوم وسحب الغاز لا تتفاعل بصورة مباشرة ، بقدر ملموس مع النيوترينوز من خلال القوة الضعيفة ، فان النيوترينوز يمكنها ان تؤثر على المجرات جاذبيا . وان التأثير بسبب مقاومة عنيفة لحركة المجرات .

ان الحسابات التي قام بها فريق من علماء الفيزياء النظرية في جامعة تيكساس في مدينة اوستن ، تبين بان الهيكل المجري المرصود ، سوف يتهدد بالضباب النيوتروني الكثيف ، لو حدث وان كانت كتلة النيوترينوز اكثر نوعا ما من قيمتها المحددة حاليا ، ويبدو بصورة واضحة ، بأن اي تغيير ، ولو كان بسيطا ، في كتلة النيوترينوز سوف يسبب تصدعا شديدا في الهيكل المجري .

الا انه يجب ملاحظة ان نيوترينوز ذات كتل ثقيلة جدا (كتل مقاربة الى كتلة البروتون) ، سوف تؤدي الى خمود وفرة نيوترينوز الحقبة الزمنية الاولى ، نتيجة لنظرية بولزمان (Boltzmann) والتي تفضل توزيع الطاقة على الجسيمات الاخف وزنا (انظر الصفحة) وفي تلك الحالة فان خلفية النيوترينوز الكونية سوف لن تعد ذات اهمية .

ويتعلق الاهتمام ايضا بالضعف الشديد للتفاعل بين النيوترينوز والمادة الاعتيادية ان هذا التفاعل برغم كونه صغير جدا ، فان له اهمية كونية عظمى . وخلال الحقبة البدائيةالحارة للكون ، قبل انقضاء الثانية الاولى ، كانت الحرارة اكثر من 10^{10} K واحتوت المادة الكونية على وفرة من البوزيترونز (انظر القسم (١-٥)) ان التفاعل بين النيوترينوز ومضادات النيوترينوز مع الالكترونات ، البوزيترونات ،

النيوترونات والبروتونات قد ولد التفاعلات التالية :-

$$p + e^- \leftrightarrow n + \nu,$$
$$p + \bar{\nu} \leftrightarrow n + e^+,$$

والتي مكنت البروتونات والنيوترونات من ان تتحول كل الى النوع الاخر .

ومادام معدل هذه التفاعلات اكبر كثيرا من معدل الانتشار الكوني فانها سوف تتمكن من ادامة التوازن الديناميكي حراري بين النيوترونات والبروتونات .

وكما تم شرحه في القسم (١-٥) وتحت ظروف التوازن فان نسبة وفرة النيوترونات الى البروتونات تحدد بعامل بولزمان $\exp(-\Delta mc^2/KT)$.

حيث ان Δm ، هي مقدار الكمية التي تفوق بها كتلة النيوترون على كتلة البروتون .

وبانتشار الكون فان معدل الانتشار ينخفض بصورة مستمرة . وان معدلات التفاعل تنخفض ايضا وبسبب ان الكون يبرد وتنخفض كثافة الجسيمات . ان التفاعلات المبينة اعلاه تصبح بطيئة الى ان تصل في نهاية المطاف الى مادون معدل الانتشار ، وعندما يحدث ذلك ، ينهار التوازن الديناميكي حرارياً . وان نسبة الوفرة تبقى مجمدة بالقيمة التي كانت عليها في درجة الحرارة التي حدث عندها إنهيار التوازن . when equilibrium failed.

إن درجة الحرارة T_F التي حدث عندها فشل التوازن تحدد ، بمساواة معدل الانتشار الكوني ($\dot{a}/a$) مع معدل التفاعلات اعلاه . وفي الفصل القادم سوف يتبين بان معدل الانتشار في الكون البدائي كان

$$\dot{a}/a \simeq (8\pi G\rho/3c^2)^{\frac{1}{2}} \qquad (3.1)$$

حيث ان P هي كثافة الطاقة الاجمالية للمادة الكونية ، والمهيمن عليها من قبل الاشعاع في تلك الحقبة . لذلك يمكننا استعمال قانون استيفان Stefans' Law لـ p

مع معامل عددي مناسب ليمثل مساهمات عدة انواع من الاشعاع . ان هذا المعامل سيكون نحو العدد واحداً . واذا عوضنا بصورة محددة لثابت الاشعاع a فان المرء يحصل على العلاقة التالية بدلا من العلاقة (٣-١)

$$\dot{a}/a \sim (Gk^4T^4/\hbar^3c^7)^{\frac{1}{2}}. \qquad (3.2)$$

وننتقل الان الى معدل التحول بين النيوترون والبروتون . وسيتحدد هذا المعدل بشدة التفاعل الضعيف gw ودرجة الحرارة T ، وبتوحيد هذه الكميات في تعبير ذي وحدات ^١-^ (زمن) فـان المرء يحصل

$$\text{معدل التفاعل} \sim g_w{}^2k^5T^5/\hbar^7c^6. \qquad (3.3)$$

وبمساواة العلاقات (٣-٢) و (٣-٣) ينتج تعبير لدرجة الحرارة التي حدث عندها انهيار التوازن وتجميد نسبة وفرة النيوترونات الى البروتونات

$$kT_F \sim G^{1/6}g_w{}^{-2/3}\hbar^{11/6}c^{7/6} \qquad (3.4)$$

وعند هذه المرحلة ، تكتشف مصادفة غير اعتيادية . اولا يتبين بمحض الصدفة بان فرق الكتلة بين النيوترون والبروتون هو اكثر قليلا فقط من كتلة الالكترون .

$$\Delta m \simeq m_e. \qquad (3.5)$$

وثانيا بان شدة التفاعل الضعيف لها صلة ، بصورة عفوية على مايبدو ، مع قوة الجاذبية بموجب المتوافقة العددية التالية :

$$(Gm_e{}^2/\hbar c)^{\frac{1}{4}} \simeq g_w m_e{}^2c/\hbar^3 \sim 10^{-11}. \qquad (3.6)$$

وعند استعمال هاتين المصادفتين في المعادلة (٣-٤) فان المرء يحصل على :

$$kT_F \simeq \Delta mc^2. \qquad (3.7)$$

vital Boltzmann

الا ان معامل بولزمان الجوهري Boltzmann Factor هو ($\text{Exp}(-\Delta mc^2/kT_F)$) وله

بموجب العلاقة (٣-٧) اس حوالي العدد واحد . ان هذا المعامل يحدد النسبة الكونية للنيوترون/البروتون ، وان التحليل اعلاه يبين بوضوح ، وفرة النيوترون ستكون ملموسة ، الا انها لن تكون جزءاً غالبا من المحتوى الاجمالي للجسيمات النووية في الكون . ان الحسابات التفصيلية تولد قيمة حوالي ١٠ في المئة .

ولو ان المعامل $\Delta mc^2/KT_F$ لم يحدث وان كان ، بصورة عفوية على مايبدو ، ذو قيمه حوالي العدد واحد ، فان هذه النسبة ستكون اما حوالي الصفر او حوالي ١٠٠ بالمئة فان محتوى الكون النووي ، شديد الحساسية ، الى مايبدو كونها صدفة عددية عشوائية تتعلق بآفاق متباينة جدا من الفيزياء .

ماهي النتائج المنطوية على هذه الترتيبات العفوية (٣-٦) و(٣-٧) ، للثوابت الاساسية ؟ لو حدث ان كانت KT_F اكبر من Δmc^2 (او اذا كانت Δm اقل بصورة ملموسة من me) ، فان اس معامل بولزمان Boltzmann Factor سوف يكون صغيرا وان المعامل نفسه سيكون قريبا جدا من العدد واحد . فعلى سبيل المثال لو كانت $KT_F = 10 \Delta mc^2$ ، فان نسبة النيوترون/البروتون ستكون حينئذ 0.9 سيكون لذلك تأثير جوهري على هيكل الكون الناجم للسبب التالي .

عندما هبطت درجة الحرارة الى مادون 10^9 K (مادون درجة حرارة الانحلال ضوئي للديوتيريوم فان النيوترونات الحرة تكون قد اتحدت بسرعة مع البروتونات لحرة لتكوين الديوتيريوم . وان الديوتيريوم بدوره سوف يكون الهليوم .

$$n + p \rightarrow D$$

$D + D \rightarrow$ خطوات وسطية $\rightarrow He^4$

ان الهليوم He^4 يحتوي على عدد متساو من البروتونات والنيوترونات . واذا افترضنا بان جميع النيوترونات المتوفرة ، سوف تندمج في الهليوم ، فسيكون حينئذ ، اجمالي الهيدروجين الكوني ، ناتج عن بقايا البروتونات غير المتوائمة ، والتى تتواجد بسبب زيادة وفرة البروتونات على النيوترونات بسبب معامل بولزمان Boltzmann Factor ولو كان هذا المعامل قريبا من العدد واحد فسيؤدي ذلك الى بقاء قليل من الهيدروجين فقط .

يلعب الهيدروجين دورا حيويا في كيمياء الكون ، وبدون الهيدروجين سوف لن تكون هناك مواد عضوية او ماء في الكون . ولن تتواجد الكواكب السيارة ذات المحيطات الكبيرة مثل الارض . واكثر فعالية من ذلك ، فان الهيدروجين هو الوقود لجميع النجوم المستقرة مثل الشمس ، ويمكن لهذه النجوم ان تتكـون بدون هـذا الوقود ، الا ان هيئتها وتصرفها سيكونان مختلفين جدا . وبالاخص فـأن النجوم المتكونة من الهيليوم سوف تمر بعمر اقصر ، قبل ان تنفجر او تحترق نهائيا . ويتبع ذلك ، بان تواجد هياكل الطبيعة الكبيرة ذات الاهمية القصرى النجوم التي تحرق الهيدروجين ـ يعتمد على العلاقة العددية العفوية بين الثوابت الاساسية المختصرة في العلاقات (٣ـ٦) و (٧ـ٣) .

ويبدو وجود الهيدروجين ذا روعة اكثر عندما يتذكر المرء بان النيـوترونـات والبروتونات هما في الحقيقة جسيمات مركبة ، تختلف فقط في محتواها للكوارك ذات النوعين d,u . ان فرق الكتلة Δm هو حوالي 10^{-3} فقط من كتلة البروتون الى انه يمثل تصحيحا صغيرا جدا ، ولو كان هذا التصحيح ثلث هـذه القيمة فقط فـان النيوترونات الحرة سوف لن تتمكن من الانحلال الى بروتونـات ، لانها حينئذ ،

سوف لن تمتلك كتلة كافية لتوليد الالكترون المطلوب . اضافة الى ذلك ، لو ان كتلة النيترون كانت ٠٫٩٩٨ من قيمتها الفعلية (اي لو كان الكوارك ذا النوعية U اثقل قليلا من الكوارك ذي النوعية d)، فعندئذ سوف تنحل البروتونات الحرة الى نيوترونات بواسطة اطلاق البوزتيرون $p \rightarrow n + e^{+} + \nu$ وفي تلك الحالة من المحتمل ان لاتكون هناك ذرات على الاطلاق .

واذا كانت KTF اقل كثيرا من $\Delta\ mc^2$ ، فان نسبة النيوترون / البروتون سوف تكون مقاربة الى الصفر وسيكون هناك القليل من الهليوم في الكون ، وسيكون لهذه الحالة عدد من العواقب الرئيسية (بالرغم من ان وجود هيليوم الكون البدائي في النجوم لا يؤثر على خواصها لدرجة ما) . الا ان هناك سببا اخر لاحتمال عدم تمكن ثابت الربط الضعيف من التغيير كثيرا باي اتجاه بدون التاثير بصورة جذرية على الهيكل الكيميائي للكون . ويتعلق هذا بواحدة من اهم عمليات الطبيعة واكثرها روعة : « Supernova » « النجوم المتفجرة فائقة التوهج » .

عندما تستهلك نجمة كبيرة كامل وقودها النووي ، فان جوف النجمة يصبح غير مستقر ضد الانقباض التجاذبي ، وبسبب عدم تمكن النجمة من توليد الحرارة لادامة ضغطها الداخلي ، فان جوف النجمة يبدأ بالانقباض تحت تأثير وزنه الذاتي ، وتحت بعض الظروف يصبح هذا الانقباض انفجارا عنيفا جدا موجها نحو الداخل . وتستغرق العملية جزءاً من الثانية فقط ليحقق الجوف كثافات نووية يطلق الانفجار نحو الداخل ، طاقات جاذبية هائلة ، ينقل معظمها نحو الخارج بواسطة النيوترينوز . وبالرغم من ان النجمة الاعتيادية هي شفافة (منفذة) بالنسبة الى النيوترينوز ، فان جوف النجمة المتراص بشدة يكون كثيفا الى درجة يسبب معها عرقلة ملحوظة لحركة النيوترينوز المتجهة نحو الخارج . ومن المعتقد بان الضغط

المبـذول من سيل النيـوترينـوز يمكنه ان يعصف بـالغلاف الخـارجي للنجمـة الى الفضاء .

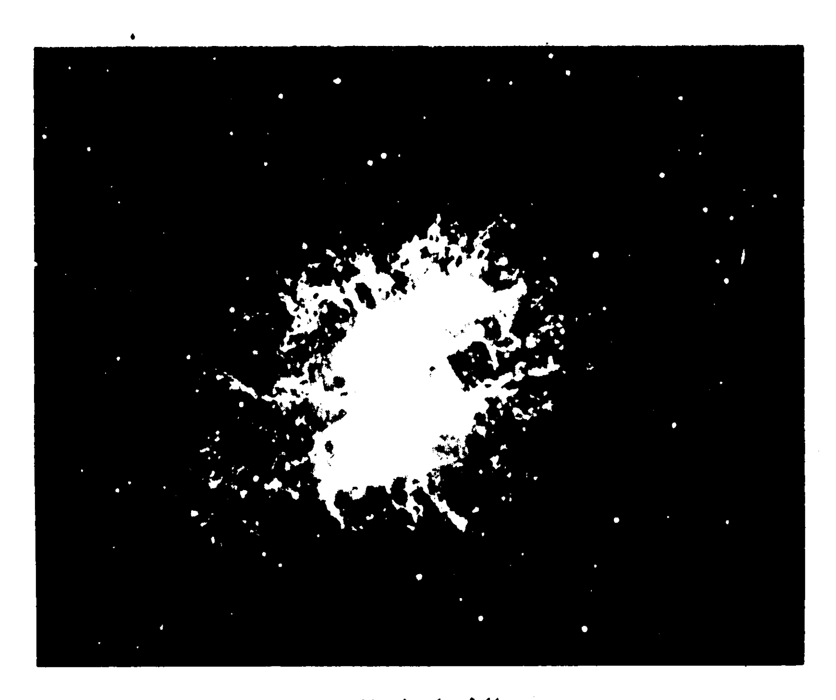
لذا فان جوف النجمة ينفجر نحو الداخل ، وينفجر غلافها نحو الخارج . ان الانفجار يولد زيادة هائلة في السطوع . لدرجة ان النجمة تنافس بسطوعها ، مجرة كاملة لبضعة ايام . ان هذا الثوران الهائل يدعى « Supernova » « النجوم المنفجرة ذات الوهج الفائق » وان مثل هذه الثوران يحدث حوالي ثلاث مرات لكل مجرة في كل قرن .

ان النجوم المتفجرة تلعب دورا مهما في التطور الكيميائي للمجرات . ان مادة المجرات



الشكل (٩)

نجمة منفجرة فائقة التوهج « Supernova » تسجل هذه الصورة انفجار نجمة واحدة والتي تزيد بصورة ملموسة من سطوع المجرة لفترة قصيرة . ان منظر الصورة المتوسع هـو نتيجة تعـرض الفلم للضوء بافراط .



الشكل (١٠)

بقايا النجم المنفجر فائق التوهج « Supernova » . في عام ١٠٥٤ لاحظ الفلكيون الشرقيون انفجار نجمة في كوكبة برج الثور واليوم ان الحطام يبدو وكغيمة غازية تعرف بالغيمة « السرطان » . وقرب المركز تقع نجمة نيوترونية دائرة بسرعة (تعرف بواسطة الاشارات المنبعثة) وهي بقايا الجوف المنهار للنجمة المتكررة .

ذات الاصل الكوني البدائي تتكون بصورة اسسية من الهيدروجين والهليوم . ويثير ذلك السؤال من اين اتت العناصر الاثقل ؟ فمن المعروف حاليا بان هذه العناصر قد تم تكوينها داخل النجوم . ولكن كيف تخرج هذه العناصر ؟ ان النجمة العجوز التي تنفجر هي غنية بالعناصر الثقيلة التي تم تكوينها في جوفها عبر التفاعلات النووية المتتالية . وان انفجار النجوم ينثر المادة الغنية بهذه العناصر حول المجرة . وعندما تتكون الاجيال التالية من النجوم والكواكب السيارة فانها ستضم بقايا هذه النجوم الميتة منذ امد طويل . اننا مدينون بالكاربون في اجسامنا والحديد في الحديد لكوكبنا

السيار واليورانيوم في مفاعلاتنا النووية الى النجوم المنفجرة التي حدثت قبل تكوين المجموعة الشمسية وبدون مثل هذه النجوم المنفجرة فان كواكباً سيارة تشابه الارض سوف لن تتواجد .

ولو حدث وان كان التفاعل الضعيف اقل ضعفا بكثير ، فان النيوترينوز لن تتمكن من بذل الضغط الكافي على القشرة المحيطة للنجمة لتوليد انفجار هذه النجوم ومن الناحية الاخرى اذا حدث وان كان التفاعل الضعيف اكثر قوة بكثير فان النيوترينوز سوف تحتجز في جوف النجمة وتصير عديمة الفاعلية . وباي الطريقتين ، فان التنظيم الكيميائي للكون سوف يكون مختلفا جدا .

(٣-٢) النواة. Nuclei

في القسم السابق ، تم تبيان ان الهيكل الكيميائي للكون يعتمد بدقة نوعا ما على تفاصيل القوة النووية الضعيفة ، وان ملاحظات مماثلة قد استنتجت بصدد القوة النووية القوية .

ان القوة القوية ، مسؤولة عن تقييد النواة معا ضد التنافر الكهربائي للبروتونات . وبسبب كون القوة القوية تفاعلا قصير المدى ، فانها تعمل فقط بين الجسيمات المتجاوره القريبة . وبالعكس ، فان القوة الكهربائية تعمل بين جميع البروتونات في النواة . ويتبع من ذلك بان اي بروتون نموذجي في نواة ما . هو ملتحم معها بسبب القوة النووية لجاره الاقرب فقط . الا انه يدفع بتأثير القوى المجتمعة للمجال الكهربائي لجميع البروتونات الاخرى . وفي نواة كبيرة ثقيلة تحتوي على العديد من النيوترونات والبروتونات فإن القوة المقيدة لاتزيد في قوتها عن القوة المقيدة في النواة الخفية ، الا ان القوة الكهربائيةُ هي اكثر بكثير بسبب البروتونات العديدة . واذا اصبحت النواة بالحجم الكافي فأن القوة الكهربائية ستتفوق بالفعل من التجاذب النووي وستتحطم النواة حينئذ .

وفي الواقع ان عدم الاستقرار النووي يبدأ قبل هذه الحالة المتطرفة . عندما

يتشوه شكل النواة من شكله الطبيعي الكروي فأن المسافة السطحية سوف تزداد . ان الجسيمات الاضافية التي تأهل السطح الاضافي ستكون مترابطة بقوة اقل من تلك القوة التي تربط هذه الجسيمات عند وقوعها في جسم النواة ، بسبب ان عدد الجسيمات التي تحيط بالجسيم على السطح تكون تقريبا نصف العدد الـذي يحيط بالجسيم الداخلي . لذلك تكتسب النواة طاقة سطحية ، الا ان تشوه سطح النواة يخفض الطاقة الكهربائية لأنه يزيد من معدل البعد بين البروتونات .

وفي النواة الخفيفة ، تفوق الزيادة في الطاقة السطحية على النقصان في الطاقة الكهربائية لذا فأن هناك اتجاها نحو التخلص من هذا التشوه ، وتحاول النواة تبني حالة طاقتها الدنيا . الا انه بالنسبة للنواة الثقيلة ، فأن القوة الكهربائية تهيمن مسببة بذلك تعظيم التشوه والذي يقود الى الانشطار النووي . ويزداد هذا الانشطار حدة بتـأثير الانفـاق الكميـة « Quantum Tunnelling Effects » والتي تقـود الى تحـطيم النواة ، مع احتمال اقل بالنسبة للنواة الاخف اكثر من ذلك . بل ان الانشطار غير المتناسق مثل اطلاق جسيمات آلفا Alpha Particles يكون اكثر احتمالا من ذلك .

ان جميع النوى المعروفة ، الاثقل من اليورانيوم لها معدل عمر اقصر بكثير من عمر الارض . ولو حدث ان كانت القوة النووية القوية اضعف نوعا ما ، فسيكون هناك عدد اقل من العناصر الكيميائية المستقرة ، ومن الصعب اتخاذ تقديرات كمية لذلك بسبب كون النواة نظام معقد وان القوى النووية ، لاتزال غير مفهومة على الوجه الصحيح . الا ان من المحتمل اذا كانت قيمة ثابت الربط القوي g_w نصف قيمتها المرصودة مثلا ، عندئذ لا تتمكن نوى مثل الحديد او حتى الكاربون من البقاء لفترة طويلة .

ان عواقبا اكثر عنفا نتيجة للتغيير في g_s تتضح من تفحص ابسط نواة مقيدة وهي نواة الديوتيرون ، المتكونة من بروتون واحد ملتحم مع نيوترون واحد . ان القوة القوية التي تقيد الديوتيرون لها مدى حوالي 10^{-15} m ولاجل احتجاز جسيم ما ضمن مدى Δx ، ينطوي من خلال مبدأ اللاتحققية لهايسنبرك « Heisenbergs' Un-

certainty Principle » بان ذلك الجسيم غير قادر على خفض زخمه الى مادون حوالي $h/\Delta x$ المتناظرة مع طاقة حركية قدرها $h^2/2m(\Delta x)^2$. وفي حالة الديوتيرون فان تلك الطاقة تستخرج بالحساب بانها حوالي 3.6×10^{-12} J الا ان الطاقة النووية الكامنة ، هي اكثر قليلا فقط من هذه الطاقة وان الطاقة المقيدة الصافية هي 3.6×10^{-13} J ولو حدث وان كانت القوة النووية اضعف بحوالي ٥٪ فعندئذ سوف لن يتمكن الديوتيرون من التواجد : لان نقطة الصفر للطاقة الكمية Quantum Energy سوف تفوق تقييد الطاقة النووية الجاذبه .

zero-point quantum energy

يلعب الديوتيريوم دورا حيويا في مصدر الطاقة للشمس والنجوم الاخرى . تحترق الشمس بواسطة سلسلة من التفاعلات النووية والتي تبدأ بالتحام بروتونين لتشكيل ديوتيرون ، بوزتيرون ونيوترينو .

$$p + p \rightarrow D + e^+ + \nu$$

وان هذه هي عملية تفاعل ضعيفة تتضمن عكس انحلال بيتا Beta ، اي تحول البروتون الى نيوترون ويتبع ذلك حدوث التحامات سريعة اخرى تتضمن الديوتريوم .

$$D + p \rightarrow He^3$$

$$He^3 + He^3 \rightarrow He^4 + 2p$$

علي سبيل المثال . وان هذه هي عملية تفاعل قوية تنطوي على اعادة ترتيب النيوترونات والبروتونات فقط ولا تتضمن تحولهم الى حالات اخرى ، لذلك فانها ستتابع بسرعة اكثر بكثير من سرعة التفاعل الاول . وبدون الديوتيريوم لايمكن ان تباشر بسلسلة التفاعلات النووية الرئيسة التي تحدثها الشمس ، ويشك في امكانية تواجد نجوم مستقرة طويلة العمر على الاطلاق . وستنجم عواقب اوخم من ذلك اذا حدث ان كان التفاعل النووي اشد بنسبة مئوية قليلة فقط . فعندئذ ستتولد امكانية التحام بروتونين معا . ان البروتون الثنائي اقل استقرارا من الديوتيريوم لسببين : اولا ان هناك تنافراً كهربائياً بين البروتونين . ثانيا ان مبدأ الاستبعاد للعالم

بولي « Pauli Exclusion Principle » يتطلب بان تنتظم البـروتونـات بحيث يكون دورانهما متعاكسا وان التجاذب النووي هو منخفض نوعا ما في هذا التنظيم .

ومرة اخرى فان الحالة المرصودة هي حالة موازنة حرجة قابلة للانهيار بسهولة ان البروتون الثنائي يفشل في البقاء مقيدا بـطاقة 1.5×10^{-14} J فقط . فيجب ان تقارن هذه القوة مع معدل طاقة مقيدة قدرها 1.3×10^{-12} J لكل جسيم نووي في نواة نموذجية . ان زيادة قدرها حوالي ٢٪ في ثابت الربط النووي gs ستكون كافية لتقييد البروتون الثنائي . واذا كانت تلك هي الحالة فسيكون البروتون الثنائي في وضع طاقي افضل للانحلال من خلال التفاعل الضعيف لتشكيل الديوتيريوم .

لقد بين العالم فريمان دايسون Freeman Dyson بان وجود البروتونات الثنائيـة سوف يجعل الهيدروجين الاعتيادي قابل للانفجار بصورة عنيفة . ان الشمس تحرق هيدروجينها ببطء واستمرار بسبب القوة الضعيفة وهي التي تنظم الحلقة الاولية في سلسلة التفاعلات المبينة اعلاه والتي تسمح بانتاج الديويتريوم بمعدل واطيء جدا . واذا تمكن الديوتيريوم من التكوين من خلال البروتون الثنائي فان الخـطوة المهمة الاولية ستكون تحت سيطرة التفاعل القوي وستكون حوالي 10^{18} مـرة اكثر كفـاءة وسينسجم عن ذلك استهلاك مروع للهيدروجين واطلاق مروع للطاقة . وفي الواقع سيكون مشكوكا فيه اذا تمكن الهيدروجين من البقاء لفترة اطول من الحقبة الكونية البدائية الحارة . وعندئذ سيتكون الكون بصورة اجمـالية تقـريبا من الهيليـوم وان عواقب ذلك قد تم بحثها في القسم (٣-١) .

ان الهياكل والتفاعلات النووية ، تعتمد ايضا بطبيعة الحال على شدة القوى الكهربائية واذا كانت شحنة البروتون اكبر فان استقرار النواة الثقيلة سيتهدد بنفس الطريقة لو حدث وان كانت القوة النووية القوية اصغر .

(٣ ـ ٣) النجوم Stars

لقد تم تحديد ابعاد المعالم الرئيسية للهيكل النجمي في القسم (٣ ـ٢) حيث تم

تبيان ان كثافة الطاقة الاشعاعيـة في نجمة نمـوذجية هي مقـاربة للطاقـة الحركيـة للجسيمات . ان هيكل النجمة في الحقيقة يعتمد بدقه نوعا ما على قدرة النجمة لنقل الحرارة من جوفها بواسطة الاشعاع . ففي النجوم ذات الكتل الاكبر ، كما رأينا سابقا ، تصبح الطاقة الاشعاعية هي الطاقة المهيمنة وتتحرر الطاقة الحرارية من هذه النجوم بصورة رئيسة من خلال سريان الاشعاع . ان هذه النجوم تدعى بالعمالقة الزرق . blue giants

وفي النجوم ذات الكتل الاقل نوعا ما ، تفشل هذه الطريقة لأن الاشعاع لا يتمكن من النفاذ بسرعة كافية لأدامة سطح النجمة بالحرارة الكافية . ان هذا الامر مهم فيما لم تبق مادة سطح النجمة متاينة جزئيا ستحدث حالات عدم الاستقرار والتي تقود الى بدء انتقال الحرارة بواسطة الحمل . ان الهيجان الحملي للحرارة يكـون مكملا لجريات الطاقة الاشعاعية ويمنع درجة الحرارة من الانخفاض بصورة كبيرة الى مادون درجة حرارة التأين لذلك تكون هذه النجوم التي تشكل فيها عملية الحمل الحراري المنفذ الـرئيسي لتحرر الـطاقة نجـوما اصغـر وابرد من النجـوم المسماة « بالعمالقة الزرق » وتسمى مثل هذه النجوم « بالاقزام الحمر » ان الشمس والعديد من النجوم المستقرة الاخرى تقع ضمن المجال الضيق نوعـا ما المحـدد بالحـالتين المتطرفتين « العمالقة الزرق » و « الاقزام الحمـر » reddwarfs وفي القسم (٢ -٣) تم اشتقاق معادلة تعرف كتلة نجمة نموذجية ، وان ماهو مثير بهذه المعادلة هو ان هذه الكتلة النموذجية M_{*} تقع بالصدفة ضمن المجال الضيق بين « العمالقة الزرق » « والاقزام الحمر » . وان هذه الحالة هي بدورها نتيجة كما يبدو لعلاقة عفوية بين القوى النسبية للجاذبية والكهرومغناطيسية كما سيتم بيانه الان . وان معالجة هذا الموضوع يتبع التحليل الاصلي لهذا الموضوع من قبل العالم براندون كارتر Brandon Carter

ان درجة حرارة سطح النجمة T_s ترتبط بدرجة الحرارة المركزية من خلال السطوع . ان معدل انبعاث الطاقة الاشعاعية لكل وحدة مساحة من سطح النجمة هو $\frac{1}{4}acT_s^4$ لذا

$$acT_s{}^4 R^2 \sim L \sim 16\pi^2 \varepsilon^2 a T_c{}^4 R^4 m_e{}^2 c^5 / N e^4$$

وباستعمال العلاقة (٢-٢٥) والتعويض عن R باستعمال العلاقة (٢-٢٣) ينتج

$$T_s{}^4 \sim 16\pi^2 \varepsilon^2 T_c{}^2 m_e{}^2 m_p G^{\frac{1}{2}} h^{\frac{1}{2}} c^{\frac{11}{2}} / e^4 k^2. \quad (3.8)$$

ان درجة الحرارة المركزية سوف تعدل نفسها تلقائيا بحيث ان معدل انتاج الطاقة من الاقتران النووي يتعادل مع انبعاث الطاقة من السطح . وسوف تبدأ التفاعلات النووية عندما يقترب معدل الطاقة لبروتون نموذجي في جوف النجمة من الطاقة اللازمة لاختراق حاجز كولومب (الكهربائي) حول البروتونات الاخرى .

ان هذه الطاقة تتحدد بعاملين متنافسين الاول توزيع طاقة البروتونات في جوف النجمة ويحدد هذا المعامل بقانون ماكسويل بولزمان Maxwell — Boltzmann Law والذي يتضمن المعامل Exp (— E/KT) ، لذا فان عدد البروتونات ذات طاقة اعظم بكثير من KT (وتلك هي البروتونات ذات الاحتمال الاقوى لاختراق الحاجز) تتناقص بصورة اسية مع E . ومن الناحية الاخرى فان سهولة اختراق الحاجز تتصاعد مع الطاقة ، بسبب ان البروتونات تكون اقرب الى قمة حاجز القوة النووية . وسيكون هناك تأثيرات الانفاق الكمية Quantum Tunnelling Effects والتي تساعد ايضا على الاختراق . ان معامل الاختراق الناتج هو Exp (— b/E ½) حيث ان $b \simeq m_p{}^{\frac{1}{2}} e^2 / 4\pi\varepsilon h$. ان حاصل ضرب معامل الاختراق مع معامل ماكسويل بولزمان ، يقترب من ذروته عند حوالي E = (bKT) $^{2/3}$ ويتضح من ذلك ان البروتونات الاكثر تأثيرا في الاختراق النووي هي تلك البروتونات ذات الطاقة القريبة من هذه القيمة . وستحدث تفاعلات غزيرة اذا كانت هذه القيمة غير بعيدة عن معدل قيمة مثل

$$kT_c \sim 10^{-2} b^2 \simeq 10^{-2} m_p e^4 / 16\pi^2 \varepsilon^2 h^2 .$$

ولا حاجة لارتفاع درجة الحرارة اكثر من هذه القيمة بكثير لادامة تجهيز جيد من الطاقة ولاجل ان تتفادى النجمة حالة عدم الاستقرار الحملي ينبغي ان تتجاوز KTS طاقة التأين .

$$k^4 T_s^4 \sim 10^{-4} m_p^3 m_e^2 e^4 G^{\frac{1}{2}} c^{\frac{11}{2}} / 16\pi^2 \varepsilon^2 \hbar^{\frac{5}{2}} \gtrsim 10^{-4} e^{16} m_e^4 / (4\pi\varepsilon)^8 \hbar^8,$$

والتي تختصر الى

$$\alpha_G \gtrsim \alpha^{12} (m_e/m_p)^4, \tag{3.9}$$

حيث ان ∝ ، هو ثابت الهيكل الدقيق الكهرومغناطيسي . ان هذه العلاقة المدهشة تقارن قوة الجاذبية (على الجانب الايسر) مع قوة الكهرومغناطيسية ونسبـة كتلتي الالكترون / البروتون . اضافه الى ذلك فان ∝ مرفوعة للقوة ١٢ لذا فان المتراجحة *inequality* اعلاه هي حساسة جدا لقيمة e .

واذا وضعنا القيم العددية فان المرء يحصل على 5.9×10^{-39} للجانب الايسر و 2.0×10^{-39} للجانب الايمن . ومن الظاهـر ان الطبيعـة قد اختـارت قيم الثوابت الاساسية بطريقة ، بحيث ان النجوم النموذجية تقع قـريبا جـدا من حافـة عدم الاستقرار الحملي . ان الحقيقة المتمثلة بان جـانبي المتراجحـة (٣-٩) هما ارقـام ضخمة لهذا الحد ومع ذلك فانهما قريبان الى بعضهما الاخر هي مذهلة حقا . ولو حدث ان كانت الجاذبية اضعف قليلا جدا او كانت الكهرومغناطيسية اقوى قليلا جدا (او كان الالكترون اقل كتلة بقليل بالنسبة الى البروتون) فان النجوم جميعا ستكون اقزاما حمرا . وان تغييرا ضئيلا في الاتجاه المعاكس سيحيل جميع النجـوم عمالقة زرق . لقد جادل العالم كارتر بان الحمل من سطح النجمة ، يلعب دورا مهما في تكوين الكواكب السيارة ، لذا فان عالماً تكون فيه الجاذبية اقل بقليل مما هي عليه قد لا يحتوي على كواكب سيارة وفي كلتا الحالتين ، سواء كانت الجاذبية اضعف او اقوى فان طبيعة كوننا سوف تكون مختلفة بصورة جوهرية .

(٣-٤) المجرات Galaxies

لايـزال الفلكيون لا يعـرفون كيف تكـونت المجـرات ، الا ان الـواضـح

الانقباض الجاذبي يجب ان يكون قد لعب دورا مهما . فاذا كانت الغازات المنبعثة من المرحلة البدائية للكون موزعة بصورة منتظمة تقريبا ، فبانتشار الكون فان الكثافة سوف تتناقص باستمرار ، الا انه كما تم شرحه في القسم(٢-٤)حدث ان تواجدت هنا وهناك في الكون مناطق غازية اكثر كثافة ، وان القوة التجاذبية لهذه الغازات المتجمعة كانت قد شجعت على ضم المزيد من بيئتها المحيطة معززة بذلك ، اضطرابات الكثافة . ان الغازات القريبة من هذه الكرة الغازية تكون قد تعرضت الى اتجاهين متنافسين : الانتشار الكوني الذي يحاول تبديد هذه الغازات وتأثير الجاذبية المحلية للكرة الغازية والتي تحاول تقييدها .

وبسبب هذه الاتجاهات المتعاكسة فان نمو الكتلة الغازية وتمايزها في نهاية المطاف ، عن البيئة المحيطة بها سوف تكون قد توالت ببطء فقط . ولاجل تبني هذا الحوار كنموذج معقول لتكوين المجرات فمن المحتمل ان يكون ضروريا الافتراض بان عدم الانتظام في الكثافة الاولية كان واضحا بشدة .

ان التحول من غيوم غازية منتظمة بصورة عامة الى مجموعة من النجوم المتراصة يستوجب تبديد كمية كبيرة من الطاقة الجاذبية ويمكن ان يتحقق ذلك عن طريق انبعاث الحرارة من الغيمة الغازية . وبتقلص كرة الغاز ، فان درجة حرارتها سوف ترتفع . ان درجة الحرارة العالية سوف تحول دون التجزئة الى نجوم . الا انه في نهاية الامر فان غيمة الغاز سوف تشع وتبدأ بالبرودة . واذا كان معدل البرودة بطيئا فسوف يستمر منع تكوين النجوم ، ومن المحتمل ان تصبح الغيمة الغازية متصدعة وتنقسم الى كرات اصغر . ومن الناحية الاخرى ، اذا كان معدل التبريد يزيد على معدل انقباض الغيمة تحدث عندئذ حالات عدم الاستقرار وتنقسم الغيمة الغازية بسرعة الى وحدات اصغر واصغر وسيكون الناتج النهائي لذلك نجوما منفردة .

وبموجب هذا الحوار فان هناك حدا اعلى لحجم المجرة يحدد بالتنافس بين زمن الانقباض tshrink الزمن اللازم لانقباض الغيمة بصورة جذرية وبين زمن التبريد

tcool الزمن اللازم لان تبرد الغيمة بصورة جذرية . ان الغيوم الغازية الاكبر من هذه سوف لن تصبح مجرات من الغيوم .

ان زمن الانقباض هو الزمن التقريبي اللازم لجسيم نموذجي للسقوط من حافة الكرة الغازية الى مركزها بفعل القوة التجاذبية ، وبالنسبة الى غيمة ذات كتلة M ونصف قطر R فان الزمن محتسب بموجب النظرية النيوتونية المبدئية هو

$$t_{\text{shrink}} \sim (GM/R^3)^{-\frac{1}{2}}. \qquad (3.10)$$

ان مقياس زمن البرودة هو موضوع اكثر تعقيدا . فاذا كان الغاز اصلا في درجة حرارة منخفضة بما فيه الكفاية ، فانه يتمكن من ان يبرد بكفاءة بواسطة عمليات مثل الانبعاث الاشعاعي الناجم من اعادة الانضمام الايوني . وبالعكس فإن معدل التبريد لغيمة حارة سوف تكون ابطأ وينجم ذلك بصورة اساسية من الانبعاث الاشعاعي من قبل الالكترونات الحرة « bremsstrahlung » قرب السطح . ان نظرية هذا التفاعل هي واضحة الا انها مملة نوعا ما وسوف لن تذكر هنا . وكما هو متوقع فانه سيعتمد على مقطع الاستطارة لثومستون Thomson Scattering Cross-Section وعلى الكتلة me والكثافة n للالكترونات ودرجة الحرارة T ، ويدمج هذه الكميات في اصطلاح ذي وحدات للزمن يحصل المرء على

$$t_{\text{cool}} \sim (1/n\alpha\sigma c)(kT/m_e c^2)^{\frac{1}{2}} \simeq (16\pi^2\varepsilon^2 m_e{}^2 c^3/\alpha e^4 n)(kT/m_e c^2)^{\frac{1}{2}} \qquad (3.11)$$

وفي هذه المرحلة يمكن للمرء ان يلاحظ ان درجة حرارة الغيمة لا علاقة لها بحجمها . وبالنسبة الى الغاز المنتشر فان ضغط الانحلال غير موجود لذا فان المعادلة (٢-١٣) تنتج

$$kT \sim GMm_p/R. \qquad (3.12)$$

وبالرغم من ان هذه العلاقة قد قدمت في الفصل الثاني لحالة التوازن ، فانها مبنية على نظرية اساسية للميكانيك (نظرية معدل طاقة الحركة The Virial Theorem) وتنطبق بصورة عامة تماما وبصورة خاصة فانها يجب ان تكون تقريبا جيدا لغيمة من الغاز سبق وان كانت قد تقلصت بصورة جذرية . واستنادا الى الفرضية المرجحة الرئيسة فان النجوم سوف تمنع من التكوين في الغيمة اذا كان

$$t_{cool} > t_{shrink}$$

ومن العلاقات (٣ـ١٠) الى (٣ـ١٢) فان هذه الحالة تختصر الى

$$R > R_c \sim \alpha^{-1} \alpha_G^{-1} (m_p/m_e)^{1/4} a_0 \qquad (3.13)$$

اي انه اذا ما تمكنت الغيمة الغازيه من الانقباض الى مادون نصف القطر الحرج Rc فقط ، فلسوف تبدأ النجوم بالتكوين بوفرة .

ان حجم نصف القطر Rc لايعتمد على الكتلة وهو ليس كبيرا جدا (ان الحسابات التفصيلية تشير الى ان نصف القطر Rc ليس اكبر بكثير من حجم مجرة الطريق اللبني) ويتضح بأن الغيوم الكبيرة الثقيلة سوف لن تكون النجوم بسهولة .

الا انه اذا كانت الغيمة باردة بدرجة كافية لان تكون غير متأينة فان التبريد هو اكثر كفاءة بكثير وأن النجوم سوف تتكون بسهولة . ومن العلاقة (٣ـ١٢) فان المرء يلاحظ بان الغيوم ذات الكتل الواطئة هي الغيوم الباردة لذلك فسوف تكون هناك كتلة حرجة Mg ، ففي الكتل الاكبر من هذه الكتلة الحرجة لن تحدث التجزئة الى نجوم والمحددة بالمطلب بان KT تفوق طاقة التأمين لحالة R > Rc ومن العلاقات (٣ـ١٢) و (٣ـ١٣) فان هذا التحديد ينطوي على كتلة مجرية عظمى

$$M_g \sim \alpha_G^{-2} \alpha^5 (m_p/m_e)^{1/2} m_p \qquad (3.14)$$

كم هي كتلة Mg ؟ بالاستذكار من المعادلة ٢ ـ١٨ بان كتلة نجمة نموذجية هي ~ Mx

m_p $\propto G^{-3/2}$ فان المرء يحصل من العلاقة (٣-١٤)

$$M_g \sim \alpha^5 \alpha_G^{-1/2} (m_p/m_e)^{1/2} M_*, \qquad (3.15)$$

او حوالي 10^{12} — 10^{11} كتلة شمسية وهو تقدير معقول (ان مجرة الطريق اللبني تحتوي على 10^{18} كتلة شمسية) .

وفي القسم(٢-٤)تم تقديم معامل كوني مهم : عدد البروتونات N في الكون المرصود وقد تم ملاحظة ان $N \sim 10^{80}$ واذا كتبنا $N \sim \alpha_G^{-2}$ يتبع ذلك عندئذ من العلاقة (٣-١٤) بان عدد المجرات في الكون هو

$$N_g \sim \alpha^{-5} \sim 10^{10} \qquad (3.16)$$

حيث تم افتراض ان كتلة مجرة نموذجية هي $\sim (m_e/m_p)^{1/2} M_g$

ومن الطريف ملاحظة ان عدد النجوم في مجرة نموذجية هو حوالي نفس عدد المجرات في الكون ونلاحظ ان هذه هي مصادفة تنتج من خلال العلاقتين (٣-١٥) و(٣-١٦) من المصادفة العددية

$$\alpha_G \sim \alpha^{20}. \qquad (3.17)$$



الفصل الرابع

Cosmic coincidences

المصادفات الكونية

استعرض الفصل السابق سلسلة الامثلة التي توفر الدليل المقنع ، بأن طبيعة العالم الفيزيائية تعتمد بدقة ، على تعاون عفوي ، على مايبدو بين فروع متباينة من الفيزياء . وبالاخص ان العلاقات العددية العرضية ، بين كميات مثل ثابت الهيكل الدقيق للجاذبية والكهرومغناطيسية ، او بين شدة القوى النووية والحالة الدينامي حرارية للكون البدائي ، توحي بأن العديد من الانظمة المألوفة التي تؤهل هذا الكون هي نتيجة لمصادفات مستبعدة الحدوث للغاية .

واذا انتقلنا الى موضوع علم الكون « دراسة الهيكل العام وتطور الكون » ، فأننا نجابه تعاونا كونياً اضافيا ذا طبيعة غير محتملة الوقوع لدرجة يصبح معها من الصعوبة مقاومة الانطباع بأن هناك مبدأ اساساً قيد العمل . ان العديد من الامثلة المناقشة في هذا الفصل تتعلق بالحالات الاولية للكون بدلا من العلاقات العددية . الا ان هناك حالة متعددة المنطق ، مشهورة ، والتي توفر اقدم مثال على نوعية المصادفات التي تشكل موضوع هذا الكتاب .

(٤ ـ ١) الاعداد الكبيرة the Large numbers

في اكثر تحاليل الاقسام السابقة ، جابهنا الرقم الكبير 10^{40} واذا جمعنا معا هذه الامثلة

$$\alpha_G^{-1} \sim 10^{40} \qquad (4.1)$$

$$N \sim 10^{80} = (10^{40})^2 \qquad (4.2)$$

$$N_* \sim 10^{60} = (10^{40})^{\frac{3}{2}} \qquad (4.3)$$

$$t_H/t_N \sim 10^{40} \qquad (4.4)$$

$$t_N/t_P \sim 10^{40} \qquad (4.5)$$

$$t_H/t_P \sim 10^{60} = (10^{40})^{\frac{3}{2}}. \qquad (4.6)$$

ان تكرار هذا الرقم المدهش ، في العديد من المواضيع التي تبدو غير ذات

صلة ، قد تمت ملاحظتها منذ فترة طويلة ، من قبل الفيزيائيين وعلماء الكون .
وهناك امثلة اخرى قد تكون اقل روعة

$$\alpha_w \equiv g_w m_e^2 c/\hbar^3 \sim (10^{40})^{\frac{1}{4}} \qquad (4.7)$$

$$S \sim (10^{40})^{\frac{1}{4}} \qquad (4.8)$$

$$N_{*_g} \sim N_g \sim (10^{40})^{\frac{1}{4}} \qquad (4.9)$$

حين ان Nxg و Ng هما عدد النجوم في مجرة وعدد المجرات في الكون على التوالي .

وقبل ان نباشر في مناقشة الاعداد الكبيرة ، يجب ان نقول بعض الشيء حول الدقة التي تنطوي عليها العلامة ~ . ان تفحصا للجدول (٥) يشير الى ان $\propto G^{-1} = 1.7\times10^{38}$ لذا فأن استعمال العلامة $\propto G^{-1} \sim 10^{40}$ ، يمكن ان يعتبر بانه انتهاك نوعا ما لتعريف التقريب الى اقرب قوة للعشرة الا ان هناك نقطتين يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار هنا . الاولى انه بالنسبة الى 10^{40} فأن 10^{2} نفسها هي كسر ضئيل . ثانيا ان بعض العوامل التي تدخل في تكوين $\propto G$ هي مسألة اصطلاحات محضة ، فعلى سبيل المثال ، كان بأمكاننا . على قدر المساواة ، استعمال h بدلا من $\hbar$. ان الاختبار لايؤثر بأي طريقة على الجدالات العامة المقدمة هنا . ان القارىء المتبحر ، الذي يرغب في اعادة صياغة العلاقات بدقة اكبر مدعو لأستعمال الجداول (٣) و (٤) .

في النظرية الفيزيائية ، ان كميات مثل 4π او ٣ غالبا ما تظهر ، الا ان ظهورها لايولد الدهشة في حين ان 10^{40} والمكون بصورة اجمالية من الثوابت الاساسية للطبيعة ، ولذلك يفترض ان تكون له اهمية اساسية هي اكبر بصورة هائلة من اي من هذه الكميات المألوفة بصورة اكثر . ان ضخامة $\propto G^{-1}$ مثلا هو تعبير عن الضعف المتناهي للجاذبية ، وقد تساءل الفيزيائيون منذ امد طويل لم ان الجاذبية بهذا الضعف بالمقارنة مع القوى الاخرى للطبيعة ؟ قارن مثلا الكهرومغناطيسية مع $\propto^{-1}$ النتيجة حوالي ١٣٧ وفي السنين الحديثة ، جرت محاولات لتوحيد القوى الاساسية

للطبيعة في نظرية واحدة . ان التكهنات الاولية افترضت احتمال وجود صلة ما بين الجاذبية والكهرومغناطيسية والتي توفر علاقة عددية بالشكل

$$\pi ln \alpha_G^{-1} \sim \alpha^{-1}.$$

وفي عام ١٩٦٧ قدم العالمان ستيفن وابيرغ وعبدوس سلام ، Steven Weinberg' & Abdus Salam نظرية تدمج القوة الكهرومغناطيسية مع القوة النووية الضعيفة . وفي هذه النظرية فان الفوتون ، الذي يلعب دور الساعي للقوة الكهرومغناطيسية ، يكون مصحوبا بجسيمات اخرى تدعى w & z والتي تنقل القوة النووية الضعيفة . ان الجسيمات w & z هي جسيمات ذات كتل كبيرة جدا والتي تفسر قصر مدى مفعول القوة الضعيفة (انظر القسم ١-٣) وفي نظرية واينبرغ - سلام Weinberg — Salam فان حلقة الوصل بين القوتين تبدو بوضوح في العلاقة العددية التالية :

$$\alpha_w \sim \alpha(m_e/m_W)^2$$

حيث ان mw هي كتلة W .لاحظ ان المصادفة(٤-٧) بالصيغة $\alpha_G \sim \alpha_w^4$ هي الظرف السعيد ، والذي تم بيانه في القسم(٣-١)، ادى الى كون غالبيته الهيدروجين .

وتبع نجاح نظرية واينبرغ - سلام Weinberg — Salam في شرح انواع مختلفة من التفاعلات دون الذرية ، وفي اختصار العدد الكلي للقوة المعروفة من اربعة الى ثلاثة تخصيص الكثير من الجهد لتوحيد اضافي القوة الكهربائية الضعيفة الناتجة مع القوة النووية وتم اقتراح العديد من الطرق لتحقيق ذلك ومن الطرق التي تدعى بالنظرية الموحدة العظمى فان الفوتون والجسيم W يحصلان على جسيم رفيق اخر مرة اخرى ، الا انه في هذه المرة فان هذا الجسيم ذو كتلة كبيرة جدا 10^{15} mp ≥ . ان احدى النتائج المثيرة المترتبة على اختلاط القوة القوية التي ترتبط مع الكوارك وبين القوة الكهربائية الضعيفة التي ترتبط مع الليبتون (بالاضافة الى الكوارك) هي ان

شخصيات الكوارك والليبتون تصبح مشوشة وتمكّن حدوث تحولهما الى جسيمات اخرى تحت بعض الظروف . فعلى سبيل المثال هناك احتمال ضئيل بان البروتون (والمتكون من الكوارك) سينحل على المدى الطويل الى بوزتيرون (والذي هو ليبتون) . ان عمر البروتون المتنبأ بموجب هذه النظرية هو تقريبا $t_N (m_x/m_p)^4$ حيث ان m_x هي كتلة الجسيم الجديد ذي الكتلة العظيمة للغاية الساعي والمرتبط بنظرية التوحيد العظمى . ولغرض تجنب التضارب مع التجربة فمن الضروري ان يكون $m_x \geqslant 10^{15} m_p$ والذي يقود الى عمر للبروتون قدره $t_p > 10^{30}$ سنة .

ان معظم نظريات التوحيد العظمى تتنبأ ان تكون m_x في حدود $(10^{15} — 10^{16}) m_p$ وتجري حاليا تجارب اكثر دقة لاختبار التنبؤ بان البروتون ينحل بمعدل عمر حوالي $\sim 10^{31}$ سنة . لاحظ انه في حالة التحقق من هذا التنبؤ فان $t_p/t_p \sim 10^{80}$ والذي هو مربع « العدد السحري » 10^{40} . ان سبب ذلك هو ان القيم المقتبسة لـ m_x هي قريبة من قيم كتلة بلانك planck mass $m_p \equiv (\hbar c/G)^{1/2}$ والتي تكون $Gm_p^2/\hbar c = 1$ ، ويعتقد على نطاق واسع بان كتلة بلانك ، والمتكونة بصورة كاملة من الثوابت الاساس لنظريتي الجاذبية والكم ، ستلعب دورا رئيسيا في اية نظرية جديدة للجاذبية . ان ظهور الكتلة m_x بصورة مقاربة الى قيمة m_p توحي بان هناك تركيباً اضافياً للنظرية الموحدة العظمى مع الجاذبية ـ قد يظهر من هذا النمط من التحليل . وفي تلك الحالة ستكون هناك قوة موحدة اساسية واحدة فقط تفسر جميع التفاعلات بين المادة وسوف تفسر عندئذ المصادفة على ما يبدو ، لكون $m_x \sim m_p$.

وفيما اذا امكن العثور على سبب طبيعي اساس لضعف الجاذبية بالاستناد على هذه الافكار ، فان القول ، بانه لوكانت الجاذبية اقوى بكثير ، فان هيكل الكون عندئذ سيتغير بصورة جذرية حقيقية . فعلى سبيل المثال كما تم ذكره في القسم (٣ ـ٣) فان جميع النجوم سوف تغدو حينئذ عمالقة زرقا . واسوأ من ذلك فان اجمالي الكون سوف يكون غير مستقر ضد الانهيار التجاذبي ولربما يكون قد انفجر نحو الداخل قبل الان . ان زمن السقوط الحر النيوتوني Newtonian Free Fall Time

الزمن اللازم لكرة كروية من المادة لان تنفجر داخليا هو حوالي $(GM/R^3)^{-1/2}$ واذا اخذنا M على انها كتلة الكون المرصود (حوالي 10^{53} كغم) و R على انه نصف قطرها (10^{26} متراً) فان زمن الانهيار سيكون حينئذ حوالي 10^{11} سنة (قارن ذلك مع العمر الحقيقي 2×10^{10} سنة) . فمن الواضح انه لو زيدت G بقليل فقط فسيكون الكون قد اختفى من الوجود مثل الان .

وبسبب ان 10^{40} هو كبير بصورة غير اعتيادية ، فان مجابهتنا لنفس هذا الرقم في عدد من السياقات المختلفة ، على مايبدو ، هي اكثر لفتا للنظر . لقد لاحظ العالمان السير آرثر ايدنكتون وبول ديراك Sir Arthur Eddington & Paull Dirac بان عمر الكون مقاس ببعض الوحدات الذرية الطبيعية او الوحدات النووية هو قريب جدا للعدد 10^{40} ، ان هذه الحقيقة مثبتة باختصار في العلاقة (٤-٤) . ويبدو انه ليس هناك سبب واضح لم ان عمر الكون يجب ان يرتبط بعدد الجسيمات كما تنطوي عليه العلاقات (٤-٢) و (٤ - ٤) . ان بعض الفيزيائيين قد دهشوا بهذه المصادفة الواضحة لمثل هذين العددين غير المحتملين . لدرجة انهم عزوا اهمية فيزيائية عميقة لهذه المصادفة . لقد كتب العالم ديراك Dirac في عام ١٩٣٨ ، يمكننا ان نفترض ان مثل هذه المصادفة هي نتيجة لصلة عميقة في الطبيعة بين علم الكونيات والنظرية الذرية .

وان في الامر غرابة بالطبع ، فان عمر الكون هو ليس ثابتا اساسا وانه يتغير مع الزمن ان الكمية tw هي ببساطة الحقبة الزمنية التي يصادف ان نعيش فيها ، لذا فقد اقترح العالم ديراك Dirac بان لا يعتبر G ثابتا للطبيعة بل يجب ان يتغير بالتناسب مع 1/t بحيث ان المصادفة العددية

$$t_H/t_N \sim \alpha_G^{-1} \qquad (4.10)$$

يجب ان تبقى صحيحة لكل الحقبات الزمنية . ان نظريات من هذا القبيل والتي تنطوي على G معتمد على الزمن غالبا مادرست عبر السنين ، وبالرغم من ان عددا

من النظريات المفصلة ، والتي تقود الى التنبؤ بهذه الظاهرة ، قد تم تقديمها ، فلا يتواجد دليل مرصود قاطع يؤيد تغير G (انظر القسم ٢-١) .

ان شرحا بديلا لمصادفة العدد الكبير قد تم تقديمه من قبل العالم ديك Dicke وجوهر مناقشته هو محاولة لاجابة السؤال التالي : هل ان الحقيقة المتمثلة بان العلاقة (4.10) حدث ان تحدث صحيحة في الحقبة الزمنية الحالية هي نتيجة للصدفة المحضة فقط ام هناك مبرر خاص لسبب حدوث معيشتنا في هذه الحقبة الزمنية بالذات بدلا من اي حقبة زمنية اخرى ؟ ان هذه القضية تتعلق بوضوح بالمراقبين البشر بطريقة اساسية نوعا ما . وتكون جزءا من نمط المناقشات التي تحاول ان تربط بين هيكل العالم الطبيعي وتواجدنا نحن . ان تحليل ديك Dicke وعددا من التحليلات المماثلة سوف تناقش بالتفصيل في الفصل القادم .

ان العدد السحري 10^{40} يقفز للظهور مرة اخرى بصفة مختلفة جدا . ويتعلق ذلك بالعدد الاجمالي للجسيمات المشحونة من الكون N ، وهو الموضوع الذي قدم باختصار في القسم (٢-٤). ان معظم الجسيمات الكونية هي بروتونات والكترونات لذا فان المرء يتوصل الى العدد N بقسمة كتلة الكون على كتلة البروتون ومضاعفة الناتج . ان الجواب يظهر بانه حوالي 10^{80} والذي هو العلاقة(٤-٢)واذا كتبنا هذه المصادفة الاخرى بالشكل .

$$N \sim (t_H/t_N)^2 \sim \alpha_G^{-1}(t_H/t_N) \sim 10^{40} \times 10^{40} \qquad (4.11)$$

وباستعمال العلاقة (٤-٤) ثم اعادة الترتيب والتعويض عن tN الزمن المستغرق لانتقال الضوء عبر موجة كومبتن لبروتون فان المرء يصل الى العلاقة المهمة

$$G\rho t_H^2/c^2 \sim 1 \qquad (4.12)$$

$\rho = N m_p c^2 (c t_H)^3$

حيث ان $P = N m_p c^2/(c\,t_H)^3$ هي معدل كثافة الطاقة للمادة في الكون .

ومن الضروري ، في هذه المرحلة ان تكون اكثر دقة بما تعنيه لفظة « الكون » فعند التوصل الى العلاقة(٤-١٢)فاننا اخذنا حجم الكون على انه $(c\,t_H)^3$ والذي هو

(٤-١٢)

حجم هبل The Hubble Volume ويمكن تقدير اهمية ذلك فقط بالتحول الى النظرية الكونية .

Cosmic dynamics

(٤-٢) الديناميكية الكونية (الحركات الكونية)

في القسم (١-٥) تمت الاشارة الى كيف ان ديناميكية كون متجانس موحد الخواص يمكن ان يشرح بمعامل واحد a(t) دالة المقياس التي تخضع لمعادلة مركبة تحدد بقوانين الجاذبية ويظهر بصورة مدهشة بان كلا من النظرية النيوترونية ونظرية النسبية العامة تعطينا نفس المعادلة التفاضلية .

$$\dot{a}^2/a^2c^2 + k/a^2 = 8\pi G\rho/3c^4. \quad (4.13)$$

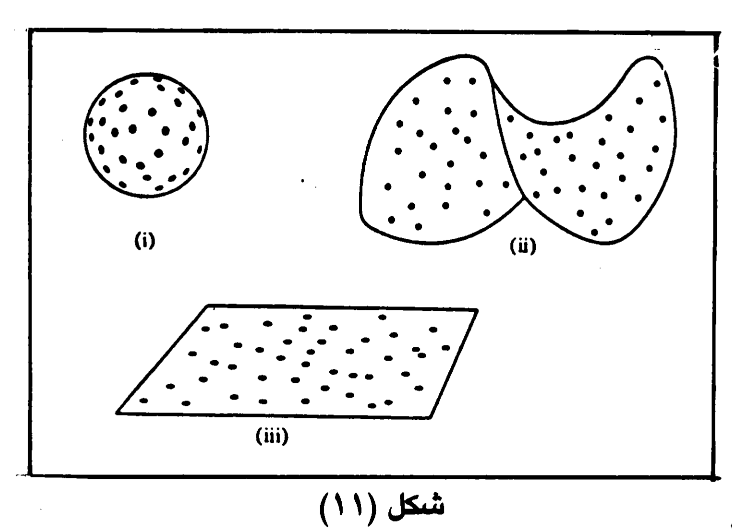
Parameter

وفي حقبتنا الزمنية يؤخذ a بانه العدد واحد . ان المعامل K والواجب عدم خلطه مع ثابت بولزمان Boltzmann له وحدات $(length)^{-2}$ ، وانه يمتلك في نظرية النسبية العامة تفسيرا هندسيا بسيطا . ان شكل الفضاء في اية لحظة ، لاينبغي ان يكون الفضاء المسطح المرتبط بهندسة اقليدس . ان نظرية آينشتن Einstein ، تتنبأ بانه على العموم ، ان الفضاء ملتوي او منحني ، وفي كون متجانس فان هذا الانحناء يجب ان يكون ثابتا في كل مكان .

وينشأ احتمالان الاول انحناء موجب يتناظر مع حالة K > O وفي هذه الحالة فان الفضاء مغلق ومحدد في الحجم ، ان الحالة مماثلة لسطح كرة ، والذي هو محدد في المساحة الا انه متجانس انظر الشكل (١١) ليس هناك حافة او نهاية لسطح البالون كما انه ليس هناك مركز للسطح . ان الكون ذو الانحناء الموجب سيكون حالة ذات ثلاثة ابعاد لسطح كرة ويشاركها خاصية امكان الطواف حوله . ان قذيفة تنطلق من اية نقطة سوف تعود بعد فترة كافية الى تلك النقطة من الاتجاه المعاكس .

وبالطبع فان الكون الحقيقي هو في حالة انتشار ، لذا فانه سوف يماثل بصورة اكبر بالوناً يتم نفخه . ان هذا الموديل الصوري يوفر تصويراً واضحاً للانفجار

الكبير . وعندما يفرغ البالون رجوعا في الـزمن الى وضعه في زمن الصفـر ، فان سطحه سوف ينكمش الى العدم ويختفي . لذا فان حدث الخلق الكوني ، ينطوي على الظهور المفاجيء للفضاء بالاضافة الى المادة ، انه ليس انفجار كتلة من المادة في فراغ متواجد من ذي قبل .



شكل (١١)

شرح على الشكل

شكل الكون استنادا الى النظرية العامة للنسبية لاينشتين Einstein فأن الفضاء يمكن ان يُقوس بواسطة الجاذبية . وفي كون منتظم فأن هناك ثلاثة اشكال محتملة . ان الشكل اعلاه يصور الحالات الثلاث بالتشبيه مع السـطوح ذات البعدين لتمثـل الفضاء ذا الابعاد الثلاثة . ان النقاط تمثل المجرات الموزعة بصورة منتظمة تقريبا خلال الفضاء .

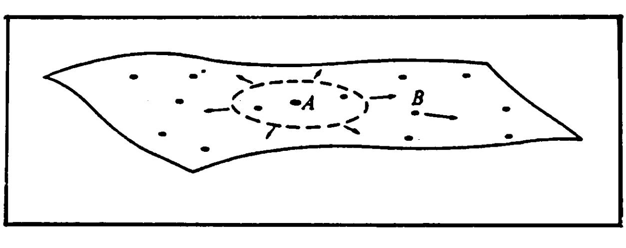
(!) ان الفضاء مقوس بصورة موجبة في حجم محدد (ويمثل هنا كمساحة سطحية محددة) . ويمكن لرجل فضاء مغامر من ان يطوف حول الكون .

(!!) ان الفضاء مقوس بصورة سالبة . وتصور قطعة منه فقط وان الحجم هو غير محدد .

(!!!) ان الفضاء مستوٍ وغير محدد وان القواعد الاعتيادية للهندسة الاقليـديسية تنطبق بحقه وفي جميع الحالات الثلاث يجب تصور السطوح بأنها في حالة انتشار .

ان حالة الانحناء السالب هي اسهل تصورا ، لان الفضاء هو غير محدد عندما تكون $K < O$ ان الانحناء هو نحو الخارج بدلا من الداخل (مشابه الى الكرة) . انها هندسة تمثل في بعض الاحيان بسطح على شكل سرج عند استعمال حالة التشبيه ذات البعدين الشكل (١١-٢) .

ان الحالة الخاصة $K = O$ هي الحالة عندما يختفي الانحناء الفضائي . الفضاء مستو وغير محدد وتطبق بشأنه نظرية اقليديس الهندسية الاعتيادية وبالرغم من ان طوبوغرافية الكون ذو $K > O$ تختلف عن تلك في الحالة $K \leqslant O$ فان الهندسة الموضعية تتغير بانتظام عندما تتفحص طائفة من النماذج لقيم K تمر بالصفر .



الشكل (١٢)

الافق في الفضاء : ان الضوء المنبعث من المجرة A يلاحق المجرات المتراجعة الاخرى (B على سبيل المثال) وان تأثيرين يتنافسان هنا . ان حافة موجة الضوء (الخط غير متصل) ينتشر نحو الخارج بأنتشار الكون . وبالنسبة الى المجرات البعيدة فأن الضوء المنبعث من A عند الانفجار الكبير لم يصل لحد الان لهم : ان الانتشار الكوني « هو اسرع » من انتشار حافة موجة الضوء .

ان هذه المجرات التي لم يلحقها الضوء البدائي الذي انبعث من A لايمكنها بالتناسق بأن تنظر من A . ان حد الكون المنظور بالنسبة الى A يدعى بأفق الجسيم . وبسبب ان الانتشار الكوني هو في حالة تباطىء فأن حافة موجة الضوء تلحق بالمجرات في نهاية الامر . لذا فأن الافق سيحيط بمجرات اكثر واكثر كلما تقدم الزمن .

وبالنسبة الى K الذي يقترب نحو الصفر من القيم السالبة فان الفضاء يتجه الى الاستواء بصورة مستمرة الى ان يصبح هندسيا اقليديسيا Eucledian عند K = O ، وبالنسبة الى قيم صغيرة موجبة

من K فان الانحناء صغير . وان الحجم (المحدد) للفضاء واسع جدا وبزيادة K فان « نصف قطر » الكون يتقلص ويتقلص حجمه تبعا لذلك . ان الهندسة القياسية توفر لنا صيغة للحجم $2\pi^2 K^{-3/2}$

وعندما يكون K > O والفضاء محدد فان فكرة عدد الجسيمات في الكون تكون واضحة المعالم ، ولكن ماذا عن الحالات غير المحددة K ≤ O ؟ ومن الضروري في هذه المرحلة الاخذ بنظر الاعتبار هيكل الفضاء زمن المسبب كما يحدد بانتقال الاشارة الضوئية في الهندسة المنتشرة المشوشة .

واذا رجعنا الى تشبيه البالون المنتفخ ، تخيل ان نبضة من الضوء انبعث من النقطة A المبينة في الشكل (١٢) وبانتقال الضوء عبر الكون فان المناطق البعيدة من A سوف تنحسر نتيجة للانتشار وتنحسر المناطق الاكثر بعدا بصورة اسرع . لذلك فعلى نبضة الضوء ان تلاحق المجرات المتراجعة . وفي اي وقت سوف تكون هناك مجرات لم يصلها بعد اي ضوء من النقطة A بسبب ان الضوء المنبعث في اللحظة الاولية ـ خلق الانفجار الكبير ـ لم يلحق بهم بعد .

وتبدو هذه النتيجة متناقضة في بادىء الامر ، بسبب انه عند البداية ، المتناظرة للمرحلة التي كان فيها الفضاء الكوني منكمشا جدا وكان الفضاء مضغوطا وكانت جميع المجرات قريبة من بعضها البعض ويبدو وكأنه بسبب كون الفضاء قد انقبض الى حجم صغير جدا ، فان الضوء يجب ان يكون قادرا على ان يقطعه بسرعة كبيرة . الا انه يجب ان نتذكر بانه في هذه المرحلة الاولية فان الكون كان يجب ان ينتشر اسرع من ذلك بكثير لذلك كان على الضوء ان يلاحق مناطق من الكون التي كانت تنتشر اسرع بكثير مما هي عليه الان . لذلك يجب علينا ان نوازن بين حدين متنافسين : ان

المسافات الواجب قطعها من قبل الضوء تقترب نحو الصفر كلما سرنا الى الخلف نحو حدث الخلق عند الزمن t = o الا ان معدل الانتشار يتصاعد الى مالا نهاية له فاي التأثيرين سوف يربح ؟

ان تحليلا بسيطا يظهر بانه مادام الانتشار يتباطأ منذ الحدث الاول عند t = o فان الضوء حينئذ سوف لن يكون قادرا على اجتياز كامل الكون لحد الان . وبالنظر لان المثالين (١-٦) و (١-٧) ينطويان على معدل انتشار يتباطأ مع الزمن فمن المؤكد تقريبا ان هذه هي الحالة في الكون الحقيقي .

واذا كان الضوء من A لم يصل بعد الى بعض المجرات ، فأن هذه المجرات لاتعرف شيئا عن A بسبب ان جميع المؤثرات الطبيعية ينبغي ان تنتقل بسرعة الضوء او اقل فليس هناك امكانية لتواجد صلة مسببة بين A وهذه المجرات . وان الحالة متناظرة فلايمكن لتأثيرات من هذه المجرات ان تكون قد وصلت الى A ويتبع ذلك بأنه في اية لحظة يوجد هناك مسافة حدية لا يوجد للكون بعدها اي تأثير طبيعي على A ان المراقبين على A لايمكنهم ان يشاهدوا اية احداث ابعد من تلك المسافة ، الا بالانتظار لحين ان يصلهم الضوء الاول في الامد الطويل . ان هذا التقسيم بين ما يمكن رؤيته ومالا يمكن رؤيته يعيد للذاكرة افق الارض ولذلك يشار اليه بالافق الكوني « او في اغلب الاحيان » افق الجسيم انه يقسم الكون حول اي مكان ، الى الجسيمات الممكن رؤيتها من ذلك المكان والى تلك الجسيمات التي لايمكن رؤيتها . ان افق الجسيم ينتشر بسرعة الضوء وفي كون متباطيء فأنه سوف يلحق ، في الامد الطويل ، اية مجرة مهما كان بعدها . وبالطبع اذا بدأ الانتشار بالتسارع مرة اخرى فلا يمكن استخلاص هذا الاستنتاج .

ان « افاق الجسيم » توفر تعريفا طبيعيا لما يُعنى « بالكون المنظور » . في اي حقبة زمنية tH فأن المراقب يتمكن فقط من ان يرى الى حد هذا الافق والذي هو المسافة الضوئية المقطوعة منذ بدأ الخليقة او حوالي ctH (مايدعى بنصف قطر هبل Hubble Radius) . ان هذا التعريف هو الذي استعمل في نهاية القسم السابق

لاستنباط حجم الكون وبوضوح فأنه يتناسب مع الزمن كما هو عليه الحال بالنسبة tH/tN . ومن الناحية الاخرى لنتفحص N عدد الجسيمات المحتواة ضمن افق الجسيم في الحقبة الزمنية tH . ان الافق ينمو بالتناسب مع الزمن ويبدو لاول نظرة لذلك وكأنما N تتناسب مع مكعب الزمن $(\text{time})^3$. الا ان كثافة الجسيمات تتناقص بأنتشار الكون . واذا قبلنا بالعلاقة(١-١٦) فأن الكثافة تقل بالتناسب مع معكوس مربع الزمن $(\text{time})^{-2}$ لذلك فان العدد N يتناسب مع الزمن (time) وليس مع مكعب الزمن ويبدو واضحا عندئذ ان المصادفة [$N \sim (tH/tN)^2$] سوف تكون صحيحة في كل الحقبات الزمنية ، لان القسم الايسر من العلاقة يزداد خطيا مع الزمن حين ان القسم الايمن يزداد بصورة مربعة .

وقد يتساءل المرء فيما اذا كان ($K > O$)هل تحدث الصدفة (٤-١١) اذا اخترنا للعدد N ، العدد الاجمالي للجسيمات في كل الفضاء « المحدد » بدلا من تلك الجسيمات التي تقع ضمن الافق الحالي . ويتضح بأنه اذا كانت K كبيرة نوعا ما ، فأن الافق يحتوي على جزء ملموس من الفضاء في حقبتنا الزمنية ، لذا فان تعريفي الكون هما متساويان تقريبا ، الا اننا سوف نتفحص القيم دون ذلك $K \simeq O$ ولهذا السبب فأننا سنلتزم بتعريف N بأنه عدد الجسيمات المشحونة ضمن افق الجسيم .

واذا رجعنا الى المعادلة(٤-١٣)فأن الحلول تتكشف بصورة سريعة عند الحالة الخاصة وهي $K = O$ ، وبالنسبة للمادة الاعتيادية فأن $\rho \propto a^{-3}$ بسبب ان $\rho a^3/c^2$ هي كتلة المادة في الحجم « المنتشر » a^3 ، وانها تبقى ثابتة في كون متجانس . ان المعادلة(٤-١٣)تتكامل حينئذ لاعطاء $a \propto t^{2/3}$ كما تم اقتباسه في القسم(١-٥) وبالنسبة الى الكون الذي تسيطر عليه الطاقة الاشعاعية فأن $\rho \propto a^{-4}$ وبتكامل (4.13) مع $K \simeq O$ يعطينا حينئذ $a \propto t^{1/2}$.

وبالرغم من ان هذه الحلول تمثل حالة خاصة ، فأنها توفر تقريبا جيدا للحالة خلال الحقبة الزمنية البدائية . وسبب ذلك هو عندما يكون a صغيرا فأن مصطلح

$\rho \propto a^{-4}$

k/a^2 يمكن اهماله بالمقارنة $p \propto a^{-4}$ ، لذلك فاننا نتوقع ان يكون $a \propto t^{1/2}$ وصفا جيدا للطور الزمني البدائي .

وبالنسبة الى $k \neq o$ فهناك حقبة زمنية خاصة $(c^4\ k^2)^{-1/4}$ والتي يبدأ عندها مصطلح K باكتساب التأثير ولايمكن اهماله بعدئذ . وبالنسبة الى $k < o$ فأن هذا المصطلح سوف يسود في نهاية الامر . وعندما تكون تلك هي الحالة ، يمكننا ان نتجاهل المادة كليا ، واذا وضعنا $p = o$ في العلاقة (٤-١٣) ينتج عن ذلك $a \propto t$ ، اي ان الكون ينتشر بمعدل منتظم بدون تباطؤ .

term

ولقيم $k > o$ يحدث امر اكثر روعة . ان التباطؤ يتعاظم بفعل مصطلح K وفي نهاية المطاف سوف يوقف الانتشار كليا في زمن $1/c\ k^{1/2} \sim$ ، وبعدئذ يبدأ الكون بالانقباض وفي نهاية الامر سوف يفني نفسه بضغط صارخ اخير يشبه الانفجار الكبير ولكن بصورة معكوسة .

ماذا يحدد قيمة K ؟ ان الكمية $\dot{a}/a$ هي معكوس زمن هبل Hubble Time tH واذا كانت $k = o$ فأن المعادلة (4.13) تنتج

$$8\pi G\rho t_H^2/3c^2 = 1 \qquad (4.14)$$

والتي هي صيغة مطابقة للعلاقة (٤-١٢) لذلك فأن المعادلة (٤-١٤) تعطي كثافة طاقة حرجة مميزة للمادة .

$$\rho_{crit} = 3c^2/8\pi G t_H^2 \qquad (4.15)$$

والتي يكون عندها الكون منبسطا فضائيا وينتشر مثل $T^{2/3}$ ، عندما تصبح المادة بدلا من الاشعاع المصدر الرئيس للطاقة .

$\rho > \rho_{crit}$

ويتبع من العلاقة (٤-١٣) انه اذا كانت $P > P_{crit}$ فعندئذ $k > o$ لذا فان الكون منغلق فضائيا وسوف ينقبض في نهاية المطاف . ان الجاذبية الاضافية للمادة الكثيفة للغاية سوف تعيد سحب المجرات على نفسها وبالنسبة الى $P < P_{crit}$ فان جاذبية المادة الكونية ستكون اضعف وسينطلق الكون بالانتشار بدون رادع $(a \propto t)$ بصورة

مماثلة جدا للقذيفة المتباعدة بتسارع . ان هندسة الكون وقدره النهائي يعتمدان لذلك على كثافة المادة او بصورة مكافئة على العدد الاجمالي للجسيمات في الكون N ويمكننا الان ادراك الاهمية الشاملة للمصادفة في العلاقة (4.12) فأنها تعلن بالضبط بأن الطبيعة قد اختارت N ليكون ذا قيمة متقاربة جدا للقيمة المطلوبة لانتاج كون منبسط فضائيا مع

$K = O$ و $P = P_{crit}$

ان تفحص المعادلة(٤-١٣) يظهر بأنه بسبب عدم وجود دليل لسيطرة مصطلح الانحناء k/a^2 في حقبتنا الزمنية ، ينبغي ان يكون هذا مازال صغيرا بالمقارنة مع المصطلحات الاخرى في المعادلة وبالاخص

$$|k|/a^2 < 1/c^2 t_H{}^2 \qquad (4.16)$$

حيث تشير $|k|$ الى مقدار (والذي يمكن ان يكون موجبا او سالبا) واذا اخذنا $a = 1$ في حقبتنا الزمنية فأن المعادلة (٤-١٦) توحي بأن نصف قطر انحناء الفضاء $rs \equiv |k|^{-1/2}$ هو على الاقل بضخامة نصف قطر هبل Hubble Radius ct_H ومن المثير مناقشة ماذا سيحدث لو ان N كانت 10^{86} بدلا من 10^{80} مثلا .

ففي تلك الحالة فأن الانتشار الكوني سوف يكون قد استغرق حوالي 10^6 سنة وان الكون يجب ان يكون قد انهار وتلاشى من الوجود قبل الآن بكثير . وبصور مماثلة لو ان N كان 10^{77} فأن مصطلح N سوف يكون قد سيطر على الدينامية الكونية منذ زمن طويل جدا . وان معدل الانتشار الاكثر سرعة ($a \propto t$ بدلا من $a \propto t^{2/3}$) سوف يكون قد ولد تأثيرا سلبيا شديدا على تكوين المجرات .

وفي كلتا الحالتين فأن هيكل الكون سيكون مختلفا جدا لو حدث ان المصادفة (٤-١٢) لم تحدث .

كم هي العلاقة(٤-١٢) مثيرة بالضبط ؟ ان الارصادات الحالية تشير الى ان

$10 < P < P_{crit}$ 0.01 لذا فأن P/P_{crit} تقع في اي مكان بين حوالي (١-) و (٩) وقد لايبدو ذلك مثيرا لذلك الحد لان المرء يجب ان يتذكر بأن P تعتمد على الزمن ومن العلاقات (٤-١٣) و (٤-١٥) يحصل المرء

$$(\rho - \rho_{crit})/\rho_{crit} = kc^2t^2/a^2. \qquad (4.17)$$

واذا رجعنا الى الحقبات الزمنية الاوليه للكون عندما سيطرت الطاقة الاشعاعية على دينامية الكون ، $a \propto t^{1/2}$ فأن النسبة اعلاه تتناسب مع t ، لهذا السبب فحتى لو اختلفت اليوم هذه النسبة عن الصفر بمقدار واحد مثلا ، فعند الثانية الاولى بعد خلق الكون فان النسبة كانت 10^{-18} فقط وعند زمن بلانك Planck ـ اقدم حقبة زمنية التي يكون لنا عندها اية ثقة في هذه النظرية ـ فأن النسبة كانت القيمة متناهية الصغر 10^{-60} .

واذا اعتبر المرء زمن بلانك Planck باللحظة البدائية التي تتحدد عندها الدينامية الكونية اللاحقة فمن الضروري الافتراض بأن الطبيعة قد اختارت P لتختلف عن Pcrit بما لايزيد عن جزء واحد في 10^{60} جزء .

ونحن لانعرف اي سبب طبيعي لم ان P هي ليست رقما اعتباطيا صرفا . فمن الواضح ان الطبيعة يمكنها اختيار اي قيمة على الاطلاق . ان اختيار P بهذا القرب من Pcrit وضبطه الدقيق بمثل هذا الاتقان المذهل هو بحق احد الغرائب العظيمة لعلم الكونيات . فلو حدث ان تخلخل هذا الضبط الدقيق للغاية للقيم ، ولو بقليل ، فأن هيكل الكون الناجم حينئذ سوف يكون مختلفا اجماليا . ولو كانت النسبة الحرجة 10^{-57} بدلا $10^{-60} >$ فأن الكون سوف لن يكون متواجداً على الاطلاق بسبب كونه قد انهار الى العدم بعد عدة ملايين من السنين فقط .

لم ان P هي قريبة الى Pcrit بهذا الحد؟ وبصياغة مختلفة لم ان Kقريب الى الصفر لهذا الحد وبغياب اي سبب طبيعي لشرح قيمة K فان المرء يحث على تفحص العوامل الاساسية للنظرية لتحديد ما اذا كانت تحتوي على انحناء مميز . ومن المعقول ان

يتوقع المرء بأن يختلف K عن هذه القيمة المميزة بمالا يتزيد عل عدد قليل والتقريب الى اقرب قوة للعشرة .

ان العوامل ذات العلاقة في النظرية الحالية G,h,c وان الانحناء المميز الممكن تكوينه من هذه الكميات هو $c^3/G\hbar \sim 10^{70}\ m^{-2}$ وذلك نحو 10^{60} مرة ادبر من القيمة الفعلية k/a^2 عند زمن بلانك Planck ، ولو حدث ان الطبيعة قد اختارت القيمة « الطبيعية » البالغة k/a^2 فأن الكون سيكون قد عاش لفترة حوالي $tp \sim 10^{-43}\ s$ فقط قبل ان ينهار الى العدم او ان ينفجر بسرعة الى فراغ . ولاجل ان نتوصل الى كون ذي امكانية للبقاء حوالي 10^{60} مرة اطول من وحدة الزمن الكونية الاساسية الطبيعية tp يتطلب الامر اجراء موازنة بين P و Pcrit لدرجة مذهلة من الاتقان .

وباختصار فأن ماحدث بلغة طبيعية هو الاتي : ان كثافة الطاقة للمادة في الكون الممثلة بـ P تحدد قوتها التجاذبية الاجمالية . ان كونا عالي الكثافة يبذل جاذبية اكبر ويسبب تباطىء الانتشار بسرعة اكثر . واذا كانت الكثافة اكبر من القيمة الحرجة Pcrit فعندئذ تتفوق الجاذبية على الانتشار وتنجح في عكس الحركة الكونية الى انهيار كارثي . واذا كانت P اكبر بكثير من Pcrit فأن هذه الحركة العكسية (ويتبعها انعدام الكون) سوف تحدث قبل ذلك . وبالعكس اذا كانت الكثافة واطئة جدا فأن القوة الجاذبية للكون هي صغيرة وان الانتشار يستمر بدون رادع تقريبا . وكلما كانت الكثافة اقل كلما اسرع الانتشار في نشر المادة الكونية ومالم تكن P قريبة للغاية من Pcrit فأن الكون يعود لينهار بسرعة على نفسه او ينفجر .

ان نفس عملية التوازن يمكن ان ينظر لها من وجهة نظر معاكسة . فلاى كثافة محددة للمادة الكونية ، فأن على الكون ان ينفجر من حدث الخلق بدرجة متقنة التنظيم من الحيوية لاجل ان يحقق هيكله الحالي . فاذا كان الانفجار صغيرا لدرجة عدم الكفاية فأن المادة الكونية ستتراجع مرة اخرى بعد انتشار وجيز وتسحق نفسها الى حالة العدم . ومن الناحية الاخرى اذا كان الانفجار كبيرا لدرجة تفوق الكفاية ، فان الشظايا سوف تعصف بعيدا كليا عن الواحدة عن الاخرى وبسرعة

وحالما تغدو هذه الشظايا منفردة ولا تتمكن من ان تتجمع معا في مجرات .

ان الحالة مماثلة جدا لحركة قذيفة تطلق عموديا من سطح الارض . فاذا اطلقت القذيفة بسرعة بطيئة لدرجة غير كافية بالنسبة لجاذبية الارض فانها ستعود حالا الى الارض . واذا ما اطلقت بسرعة اكبر من الكفاية فانها سوف تنطلق الى الفضاء وتبتعد بسرعة بدون عودة مطلقا . ان الحد الفاصل بين هاتين الحالتين للقذيفتين هو عندما نطلق القذيفة بالضبط بما يدعى « بسرعة الافلات » . السرعة الدنيا لاجل ان تتمكن من ان تفلت من جاذبية الارض . وفي الحالة الكونية فان الانتشار قد بدأ بقوة منظمة للغاية بالنسبة الى قوته التجاذبية بحيث انه تمكن بالضبط من الافلات من جاذبيته الذاتية .

وننهي هذا القسم بملاحظة طريفة بديلة لاستعراض هذه الحالة المثيرة . فالنسبة الى كون يهيمن عليه الاشعاع فان درجة الحرارة $T \propto t^{-1/2}$ ان الطاقة KT توفر وحدة طبيعية للطول $\lambda = hc/KT$ والتي هي طول موجة فوتون نموذجي للاشعاع . ومن العلاقة (4.16) فان المرء يحصل على وحدة اخرى للطول : نصف قطر انحناء الفضاء والذي هو كما تم بيانه على الاقل ctH . ct_H The radius of space curvature

وتظهر الان العلاقة (٤-١٦) بان $|K| \propto (a/tH)^2 \propto t^{-1}$ بالنسبة الى كون يهيمن عليه الاشعاع ، لذا فان نصف قطر انحناء الفضاء $r_s \equiv |K|^{-1/2} \propto t^{1/2}$ والذي هو يعتمد على الزمن بالضبط مثل λ . لذلك فان النسبة λ/r_s لاتعتمد على الزمن في كون مهيمن عليه الاشعاع . ان القيمة الحالية لـ λ تتناظر مع طول موجة نموذجية للاشعاع ذي خلفية الموجات الحرارية متناهية الصغر عند درجة الحرارة 3 K وهي حوالي 10^{-3} m وان نصف قطر هبل Hubble هو حوالي 10^{-26} m ~ لذا فان النسبة هي حوالي 10^{-28} الا ان هذا هو تقدير عال لان الكون قد اضحى مهيمنا عليه بالمادة بدلا من الاشعاع منذ 10^5 سنة ، وقد خفض ذلك درجة الحرارة بمعامل 10 ~ لذا فان تمثيلا للنسبة هو

$$\lambda/r_s \lesssim 10^{-29}. \qquad (4.18)$$

ان الحقيقة المتمثلة بان الجانب الايمن من العلاقة (٤-١٨) هو عدد صغير الى هذا الحد ، هو تعبير بديل عن الحقيقة المتمثلة بان P هي قريبة من Porit الى هذا الحد وبسبب عدم اعتمادها على الزمن (على الاقل عندما كان الكون مهيمنا عليه بالاشعاع) فان لهذه النسبة خاصية اساسية نوعا ما . ويمكن افتراض وجوب اخذها ، مع العوامل الكونية الاخرى ، كعدد كوني مميز . ان الحقيقة المتمثلة بانها قريبة الى القيمة ¾- (10^{40}) تبدو وكأنها تشير الى مصادفة العدد الكبير مرة اخرى .الا ان العلاقة (٤-١٨) هي ليست في الواقع مستقلة عن العوامل الكونية الاخرى كما سيتم بيانه الان . لنفرض ان K هو صغير الى حد ان المصطلح الذي يحتوي على K في المعادلة (٤-١٣) يمكن اهماله . ومع الافتراض $P = aT^4$ (معادلة ستيفان - بولزمان) « Stephan — Boltzmann Equation» والتي تتناظر مع كون يهيمن عليه الاشعاع يمكن للمرء ان يكامل (٤-١٣) بسهولة .

$$kT = (45h^3c^5/32\pi^3 G\, 1)^{\frac{1}{4}} t^{-\frac{1}{2}}, \qquad (4.19)$$

وهي نتيجة استعملت للحصول على المعادلة (٤-١٩) وعند التوصل الى (١-٢٣) فاننا قد عوضنا عن ثابت الاشعاع a ، اخذين ينظر الاعتبار حقيقة بانه سوف تكون هناك عدة انواع من الاشعاع ويمثل بمعامل التعديل N .

ان المعلم المدهش للعلاقة (٤-١٩) هو ان معامل $t^{-1/2}$ معطى بصورة كاملة بمصطلحات الثوابت الاساسية h,c,G وانه لا يعتمد اطلاقا على الحالة البدائية (وذلك لاننا اهملنا K) وبافتراض ان N لا يختلف كثيرا عن العدد واحد وباستعمال (٤-١٦)

$$\lambda/r_s \lesssim (t_P/t_H)^{\frac{1}{2}} \sim 10^{-30} \qquad (4.20)$$

حيث قد وضعنا t = tH , a = 1 لتتناظر مع حقبتنا الزمنية . ولذلك فاننا نستخلص (٤-١٨) كحالة خاصة لمصادفة العدد الكبير (٤-٦) .

وباختصار يمكننا ان نعرض اللغز الاساس للتنظيم الدقيق للكون كما يلي : لم ان الكون هو اكبر بكثير من طول موجة نموذجية لاشعاعه الحراري في الحقبة الزمنية البدائية ؟

ان المعامل K هو حوالي 10^{60} مرة اقل من القيمة الطبيعية المحددة بطول بلانك Planck ويبدو لذلك من المعقول الشك بان هناك مبدأ للتناسق الخفي هو قيد العمل والتي ترغم K لان يكون صفرا بالضبط . وفي الواقع فان بعض المؤلفين حاولوا الربط بين الحالة K = O مع مبدأ ماك (الصفحة ١٨١) الا اننا نعلم بان K لايمكن ان يكون صفرا بالضبط والا سوف لن تكون هناك مجرات . ان انحناء الفضاء عند مقياس مجاميع المجرات ، الصغير نسبيا ، هو ليس صفرا بالتأكيد . وعند المقاييس الكونية فقط فانه يكون قريبا من الصفر الى هذا الحد . ان من الصعب تخيل المبدأ الذي يرغم K ان يكون على المعدل بهذا الصغر وبنفس الوقت فانه كبير بما فيه الكفاية محليا لدرجة تسمح بتكوين المجرات .

(٤-٣) التعاون بدون اتصال : Cooperation without communication

لقد تم ذكره عدة مرات بان الكون متجانس بصورة ملفتة للنظر على مقياس واسع جدا . وبالطبع فان هناك درجة ملموسة من التكتل في توزيع المادة الكونية ، وقدر محدد من الانتشار في الحركات عند مقياس المجرات . ولكن على مقياس 10^{24} واكثر مثلا فان التوزيع منتظم ومتجانس بدرجة عالية الدقة .

ان احد افضل الاختيارات لتجانس الكون ، هي قياسات الاشعاع ذي الخلفية الموجية المتناهية الصغر . ان الارصادات الحالية تضع حدودا قدرها جزء واحد في حوالي 10^{40} جزء على التغيير في درجة الحرارة مع الوجهة في الكون . ومالم نكن نحن في موضع فضائي متميز في الكون ، فيجب علينا ان نفترض بان هذا الانتظام موجود في كل مكان والذي يدل بنفسه على الانسجام ويدل ايضا بان الانتشار الكوني هو منتظم ومتجانس .

لم ان الكون منتظم لهذا الحد بحيث اننا نحتاج الى ان نتبصر بناحية واحدة من الحرية a (t) لشرح ديناميته الاجمالية . ان احد الاجوبة هو الافتراض ببساطة بان الكون قد خلق بهذه الطريقة . وذلك يعني بان الكون هو ماعليه بسبب كونه نفس ماكان عليه سابقا ، لذا فمن الصعب ان يوفر ذلك شرحا مناسبا .

ويصبح اللغز اكثر اثارة عندما نأخذ بنظر الاعتبار افق الجسيم ، وقد تم ذكره في القسم السابق بان الافق يزداد بسرعة الضوء . وبالاستنباط رجوعا بالزمن الى الخلف الى الكون البدائي ، فان المرء يرى بانه عند زمن بلانك Planck فان نصف قطر الفضاء كان حوالي 10^{-35} m (طول بلانك) Planck Length وانه قد احاط بحوالي 10^{-8} Kg من المادة . واليوم فان ذلك الحجم من الفراغ قد تضخم الى حوالي 10^{-15} m^3

شكل رقم (١٣)

[آفاق الباخرة . ان الراصد على الباخرة «A» يمكنه ان يرى كلا من B و C بالرغم من ان B لاترى C والعكس بالعكس . وبصورة مماثلة في الكون ، اننا نرى المجرات البعيدة التي لايمكن ان تلاحظ من قبل بعضها البعض . ان هذه المجرات لم يسبق لها ان كانت في اتصال مسبب ولكنه بالرغم من ذلك فأنهما تظهران وتتصرفان بصورة مطابقة] .

ان الافق يقسم مناطق الفضاء المتصلة عن سبب . ان المناطق التي هي خارج افق المناطق الاخرى لاتعرف ماذا تعمل المناطق الاخرى . لذا فليس لدينا سبب للافتراض اذا بان الكون البدائي يجب ان يتعاون بتصرفاته عبر اطوال تزيد كثيرا عن

وبالاخص فانه ليس هناك سبب طبيعي لـوجوب كـون معدل الانتشـار 10^{-35} m متماثلا بين مناطق متباعدة بمسافة اكثر من 10^{-35} m ولكن اذا كانت تلك هي الحالة فيجب ان نتوقع ان يكون الكون اليوم في فوضى عند مقاييس الطول m 10^{-6} ~ 10 او ان يظهر بعض الدليل على تبديد هذه الفوضى خلال الحقبة $t > tp$ عندما اصبحت المناطق المجاورة على اتصال مسبب . ان الكون المرصود حاليا كان قد قسم عن سبب من قبل الافق الى مالا يقل عن 10^{80} منطقة منفصلة عند حقبة بلانك ، الا انه كما تم التأكيد عليه ، فان الكون يقدم مظهرا متجانسا للغاية وان هذه الملاحظة تنطبق على مناطق الكون التي هي حتى الان غير متصلة عن سبب . ويمكن تمثيل ذلك بالتشبيه (الشكل ١٣) . تصور ان سفينة A في عرض المحيط ان بحارا في عش الغراب (مقعد الرصد) يشاهد باخرة اخرى B قد ابحرت عبر الافق الى الغرب وبنفس الوقت فانه يرصد سفينة ثالثة C فوق الافق تماما الى الشرق . وبالرغم من ان كلا من C,B هما ضمن نطاق النظر الى A فان B لايمكنها ان ترى C والعكس بالعكس لانهما تقعان مابعد افق كل واحدة الاخرى .

ان ملاحظات مشابهة تنطبق بالنسبة للافق الكوني : فقد يمكننا ان نشاهـد مجرات بعيدة على جوانب متقابلة من السماء ونستنتج بانه بسبب قربها الى افقنا فانها تقع مابعد افق الواحدة الاخرى ولا يمكنها من رؤية بعضها البعض . الا ان هذه المجرات التي تقع في تلك المناطق من الكون غير المتصلة عن سبب ـ المناطق التي لم يسبق لها على الاطلاق ان كانت على اتصال طبيعي باي صورة ـ تبدو متشابهة بدرجة ملحوظة . اضافة الى ذلك فان هذه المجرات تؤهل هذه المناطق غير المتصلة بنفس الكثافة وتبتعد عن جيرانها بنفس المعدل

فكيف يفسر المرء مثل هذه الدرجة غير الاعتيادية من التعاون بدون اتصال ؟ ان من الصعب مقـاومة الانـطباع بـان شيئا مـا ـ لـه بعض التـأثـير القـادر عـلى تجـاوز الفضازمن وتحديدات التسبيب النسبي ـ والحائز على نظرة شاملة لمجمل الكون في لحظة الخلق والذي كان قد حرك بمهارة جميع الاجزاء غـير المتصلة عن سبب لان

تنفجر بنفس الحيوية بالضبط وبنفس الوقت . وبالرغم من ذلك فانها ليست متناسقة بالدقة الكافية التي تمنع تواجد حالات طفيفة للشواذ الصغيرة القياس والتي كونت في نهاية المطاف المجرات وكونتنا نحن .

ان احدى الشروح الممكنة هي ان نفترض بان الكون قد بدأ بحالة غير منتظمة ، مصحوبا بحركات فوضوية مضطربة وتوزيع غير متوازن للغاية للمادة والطاقة وبعدئذ وبتقدم الانتشار فان فوضى المرحلة الاولى قد تبددت مخلفة النمط المنتظم للحركة والتوزيع المنتظم للمادة اللتين نلاحظهما الان . ان العديد من طرق التبديد تقترح نفسها . فعلى سبيل المثال ، تحويل طاقة الجاذبية المضطربة الى مادة من خلال خلق ازواج الجسيم مضاد الجسيم .

لقد تم بذل قدر ملموس من الجهد لبحث نظرية التبديد لفوضى الكون البدائي ان احدى العمليات المهمة هي بلاشك انتاج الجسيمات من الطاقة المضطربة . الا انه لم يتم لحد الان وصف عملية مقنعة لتسبيب الدرجة العالية الحالية من التنظيم . ان من الممكن دائما اكتشاف اضطرابات اولية والتي لايمكن اخمادها بصورة كلية . اضافة الى ذلك فان بعض الحركات غير المنتظمة تميل الى النمو مرة اخرى بعدَ ان يتوقف الاخماد .

ان مشكلة اخرى تتعلق بتبديد الفوضى البدائية هي الحرارة الشديدة التي تولدها . ان جميع التأثيرات الخامدة والاحتكاكية تولد الحرارة ولذلك الانتروبيا Enthropy ان معظم الحرارة الكونية تكمن في الاشعاع ذي الخلفة الموجية المتناهية الصغر ، عند درجة حرارة 3 K ، ويوفر ذلك تقييدا على درجة تبديد الاضطراب في الكون البدائي .

ان الصعوبة الرئيسة يمكن تصويرها ببحث حالة وجود كميات صغيرة لحالة تباين الخواص في عالم منتظم لولا وجود مثل هذه الحالات . فمن الممكن ان يستمر وصف الانتشار بصورة تقريبية بمعدل معامل القياس a (t) ، الا ان المعادلات التجاذبية سوف تحتوي على مصطلح اضافي ناجم عن الهندسة الاكثر تعقيدا وان هذا

يتناسب مع a^{-6} لذا يمكننا ان نعيد كتابة (٤-١٣) بالصيغة .

$$\dot{a}^2/a^2c^2 + k/a^2 = 8\pi G\rho/3c^4 + A/a^6 \qquad (4.21)$$

حيث ان A هو ثابت ، ونعامل حالة تباين الخواص كنوع من الطاقة المضطربة لتتماشى من كثافة الطاقة للمادة P . وبما ان $P \propto a^{-4}$ فمن الواضح ان حالة تباين الخواص سوف تهيمن على عملية الحركة خلال الزمن الاولي (عندما يكون a صغيرا) ان اهمال حدى K و P في المعادلة (٤-٢١) يقود الى الحل $a \propto t^{1/3}$ بدلا من $a \propto t^{1/2}$ الذي تم التوصل اليه بالنسبة للنموذج البسيط المنتظم .

ان اهمية المعامل a^{-6} المتعلق بطاقة حالة تباين الخواص تكمن بانه يزداد بصورة اسرع من المعامل a^{-4} المتعلق بالطاقة الحرارية P كلما اقترب a نحو الصفر $a \rightarrow 0$ ، لذا فعندما تتحول حالة تباين الخواص الى حرارة ، فان كمية الحرارة الناجمة لكمية معينة من تباين الخواص هي اكبر كلما كان زمن تحويلها مبكرا . ويمكن بيان ذلك بصورة مختلفة ، ان طاقة حالة تباين الخواص تتلاشى بصورة اسرع من الطاقة الحرارية بانتشار الكون ، وبتحويل حالة تباين الخواص الى الحرارة في وقت مبكر فان تأثيرها في الكون البدائي سوف يكون اكبر بصورة متناظرة .

كم مبكر بصورة واقعيه يمكن لحالة تباين الخواص ان تبدد الى حرارة ؟ ان الطرق الاخمادية التي تم فحصها لحد الان هي اكثر كفاءة عند الحقبات الزمنية الاولية . الا ان تلك هي الحالة التي يتم فيها انبعاث الحرارة القصوى للكمية الدنيا من حالة تباين الخواص . واذا حدث التبديد عند زمن بلانك Planck Time (والتي هي الحقبة الزمنية المفضلة لتأثيرات خلق الجسيمات) فحينئذ حتى ان حالة تباين الخواص بمقدار جزء واحد في 10^{40} جزء سوف تولد حرارة كثيرة (اكثر من المطلوب) ويمكن التعبير عن ذلك بطريقة اخرى . ان درجة الحرارة الحالية للفضاء ، تتطلب ان يكون معدل الانتشار ، عند زمن بلانك Planck Time منظما بدقة باتجاهات مختلفة لحدود جزء واحد في 10^{40} جزء . وان هذا هو مثال مذهل اخر على التواطؤ الكوني .

ان المناقشات اعلاه تعتمد على وجود مقياس ذى معنى للحرارة الكونية

(الانثروبيا) اننا نقيس كثافة الطاقة ذات الخلفية الحرارية الا ان بنـاء وحدة من الحرارة يتطلب حجما اساسيا من الفضاء . ان مثل هذا الحجم يوفر من قبل المادة الاعتيادية . ان معدل كثافة البروتونات في الكون هي حوالي بروتون واحد لكل متر مكعب ، لذا فان مترا مكعباً واحداً هو حجم طبيعي للاختبار .

وبدلا من أن نناقش الطاقة الحرارية لكل متر مكعب والتي تتغير مع الحقبة الزمنية كلما انتشر الكون ، فان الاكثر مـلائمة هـو ان نستعمل عـدد الفوتـونات للاشعاع الحراري لكل بروتون لايعتمد على الزمن تقريبا . ان النسبة الفـوتون/ البروتون التي يرمز لها ب S قد قدمت في القسم (1.1) ان لها قيمة حوالي 10^9 . ان صغر S (بالمقارنة مع 10^{40}) هو الذي يقيد تباين الخواص في الكون البدائي .

ان المعامل S سيكون له معنى فقط مادام عدد البروتونات في الكون ثابتا لقد تم ذكره في القسم(٤-١)بان بعض النظريات الحديثة للقوى الاساسية تتنبأ ببروتون غير ثابت . واذا كان عدد البروتونات (او بصورة دقيقة عدد الباريونات) هو ليس كمية محافظا عليها فحينئذ تغدو النسبة فوتون/ بروتون عديمة المعنى . وفي نماذج الكون التي تنطوي على مثل هذه التأثيرات ، لايمكن للمرء بعدئذ ان يتطلع الى التحليل اعلاه لتحديد حالة تباين الخواص باستعمال الاشعاع الخلفي 3 K .

(٤ ـ ٤) انثروبيا الكون. *the entropy of the universe.*

ان احد العوامل الكونية الاساسية هو S نسبة الفوتون/البروتون . ان كثافة الانثروبيا للاشعاع الحراري هي متناسبة مع كثافة الفوتون . لذا فان S هو ايضا مقياس للانثروبيا للبروتون الواحد في الكون . وكما تم شرحه في القسم السابق فان هذه الانثروبيا يمكن ان تكون قد تولدت نتيجة لتبديد الاضطراب في الكون البدائي بالرغم من ان من الصعب فهم لم ان S بهذا الصغر .

ان الانثروبيا الاجمالية للكون هي اعظم نوعا ما من انثروبيا الفوتونات . ان من المحتمل تواجد انواع اخرى من الاشعاع في الكـون بالاضـافة الى الاشعـاع

الكهرومغناطيسي مثلا النيوترينوز والكرافيتونز . اننا نتوقع ان تكون النيوترونات البدائية قد غمرت الكون . بسبب انه قبل حوالي 10^{-3} ثانية فان النيوترونات كانت مرتبطة مع المادة ولذلك فهي مرتبطة مع الفوتونات من خلال التفاعلات التي تمت مناقشتها في القسم (٣-١) ولسوف يمكن ذلك من ضمان التوازن الحراري وابقاء الفوتونات والنيوترينوز بدرجة حرارة موحدة . وبعد فك ارتباط النيوترينوز فان درجة حرارة الفوتون سوف تكون قد رفعت قليلا بسبب افناء الميونات والبوزتيرونات . ان الحسابات تشير بان درجة الحرارة الحالية لخلفية النيوترينوز هي حوالي 2 K .

واذا كان هناك ثلاثة انواع مختلفة من النيوترينو فان ذلك ينطوي على انثروبيا للنيوترينو مقاربة لانثروبيا الفوتون . وان نقاشا مماثلا ينطبق على الكرافيتونات . ولكن بما ان خلفية الاشعاع للنيوترينوز والكرافيتون لايمكن تحسسها بالتكنولوجيا المعروفة في المدى المنظور فلدينا دليل غير مباشر فقط على تواجده (انظر القسم (٣-١) .

وقد يبدو مدهشا من النظرة الاولى بان لاتعتمد على الزمن بسبب ان الفوتونات تخلق وتمتص باستمرار . وبالاخص فان انبعاث ضوء النجم يعزز محتوى الكون من الفوتونات .

ولاجل ان نتحرى مسالة ضوء النجم المتراكم يمكننا استعمال نتائج القسمين (٢-٣)و(٣-٣)ان عدد النجوم في الكون المنظور هو N/Nx ~ وان كل نجمة لها معدل سطوع محدد بـ

$$kT_s \sim 0.1 e^4 m_e/16\pi^2 \varepsilon^2 \hbar^2, \quad \sim ac\, T_s^4 R^2 .$$

كما تم شرحه في القسم (٣-٣) ، ان معدل عمر النجوم هو tH ~ tx (انظر المعادلة (٢-٣٠) في حين ان نصف القطر R هو معطى بالتعبير $\sim \hbar^2/G m_p^2 m_e N_*^{1/3}$, فمن المناقشات المتعلقة بالمعادلة(٢-١٤) واذا دمجنا جميع هذه العوامل باستعمال العلاقة فان المرء يحصل على التعبير التالي للعدد الاجمالي لفوتونات ضوء النجم .

$$10^{-3}(m_e/m_p)\alpha^6\alpha_G^{-\frac{1}{2}}N \sim 10N \qquad (4.22)$$

والتي يجب ان تقارن مع عدد الفوتونات الاشعاعية الحرارية للكون البدائي ~ SN ~ 10^9 N وبوضوح فان فوتونات ضوء النجم هي اقل عددا بكثير الا ان طاقتها هي حوالي 10^4 مرة اكبر لذا فان كثافة الطاقة المتراكمة لضوء النجوم هي ليست عدة مرات القوة 10 اقل من كثافة الطاقة الخلفية للكون البدائي .

ان للنسبة S تأثيرا مهما على الهيكل الطبيعي للكون . فلوكانت S , 10^7 مرة اكبر فان درجة حرارة الفضاء سوف تكون الان اعلى من درجة غليان الماء ، ولايمكن للماء ان يتواجد في الكون لحين قيام الانتشار الكوني بخفض درجة الحرارة الخلفية بصورة ملموسة . سوف يستغرق ذلك عدة مرات زمن هبل Hubble Time وعند ذلك الوقت فان معظم النجوم ذات النوعية الشمسية سوف تكون قد احترقت نهائيا (اذا كان بالامكان تكوينها على الاطلاق) .

واكثر اهمية ، فا زيادة طفيفة في s سوف تهدد بصورة جدية تواجد المجرات . وكما تم شرحه في القسم (٣-٤) فان المجرات قد تكونت من خلال التخلخل في كثافة الغازات للكون البدائي . ولايمكن لهذه العملية ان تبدأ لحين ان الديناميكية الجاذبية للوسط الكوني كانت قد هيمنت عليه المادة بدلا من الاشعاع . فمتى حدث ذلك ؟

ان كثافة الطاقة للفوتونات هي $N\gamma K T$ حيث ان $N\gamma$ هي كثافتها العددية وبصورة مماثلة فان كثافة الطاقة للمادة (بروتونات بصورة رئيسية) هو $n_p m_p c^2$ وان المساواة تحدث عندما يكون $KT \simeq m_p c^2/S$ وباستعمال (٤-١٩) لحذف T فاننا نتوصل الى

$$t_{\text{equal}} \sim S^2\alpha_G^{-\frac{1}{2}}t_N \sim 10^{13}\ \text{s}. \qquad (4.23)$$

وان هناك معيارا اخر يجب ان يتحقق قبل ان تتمكن المجرات من البدء في النمو . فحين كانت درجة حرارة الكون اعلى من درجة حرارة التأين للهيدروجين ، فان المادة الكونية كانت غير شفافة (منفذة) للضوء ولذلك كانت خاضعة لضغط

الاشعاع الشديد والذي سوف يسندها ضد الانقباض التجاذبي السريع . وعند هبوط درجة الحرارة الى مادون حوالي $0.1\ e^4\ me / 16\ \pi^2 \epsilon^2 \hbar^2 K$ ثم فك ارتباط المادة والاشعاع عندما اصبحت الغازات شفافة (منفذة) .

ولاجل استنباط زمن فك الارتباط بين المادة والاشعاع . فان المرء يلاحظ بانه بعد زمن tequal فان معامل مقياس الانتشار يتبع القانون (١-١٦) ، الا ان درجة حرارة المادة تقل بنفس المعدل لدرجة حرارة الاشعاع $T \propto a^{-1} \propto t^{-2/3}$ طالما دامت متأينة . ولذلك فهي مرتبطة بالانغمار الحراري الاشعاعي بافتراض ان حقبة فك الارتباط Tdec > tequal

$$T(t) / T(tequal) = (tequal/t)^{2/3}$$

وباستعمال العلاقة (٤-٢٣) لـ tequal واستعمال mp c²/ks لـ T (tequal) فان المرء يحل هذه المعادلة بسهولة للحصول على t . اننا نطلب ان تكون $KT(t) \sim 0.1\ e^4\ me/16\ \pi^2\ \epsilon^2 \hbar^2$ ولتلك الحالة فان t تأخذ القيمة

$$t_{dec} \sim 10 S^{\frac{1}{2}} \alpha_G^{-\frac{1}{2}} \alpha^{-3} (m_p/m_e)^{\frac{3}{2}} t_N \sim 10^{13}\ s. \qquad (4.24)$$

وان هذه المصادفة العددية وهي tequal ~ tdec كانت مثار دهشة بين الفلكيين لبعض الوقت انها تنتج من الحادثة العددية نسبة الفوتون/البروتون هي

$$S \sim 10 \alpha^{-2} (m_p/m_e). \qquad (4.25)$$

ان العلاقة (٤-٢٣) حساسة نوعا ما بالنسبة الى النسبة S . فلوحدث وان كانت S اقل من حوالي 10^3 فان tequal ستكون قد هبطت الى زمن حوالي ثانية واحدة قبل ان يبدأ التركيب النووي البدائي . ان كونا تهيمن عليه المادة بدلا من الاشعاع ينتشر بمعدل مختلف ، وسوف يولد نسبة مختلفة جدا من الهيدروجين الى الهليوم . ومن الناحية الاخرى اذا حدث وان كان S اكبر 10^{11} مثلا فان الاشعاع سوف يبقى مهيمنا على الكون ولذلك فان الكون سيكون بدون مجرات لغاية الحقبة الزمنية الحالية .

وبوضوح فان بعض المعالم الاساسية نوعا ما لكوننا تعتمد على كون S تقع في حدود القيم $10^{3} < S < 10^{11}$ ولكن مالذي يحدد قيمة S ؟

بعد ان تم اكتشاف الاشعاع الحراري ذي الخلفية الكونية في عام ١٩٦٥ ، فان معظم الفلكيين وعلماء الكون افترضوا بان القيمة الفعلية لدرجة حرارته 3 K هي مجرد رقم اعتباطي وليس له اهمية خاصة تفوق اهمية عدد الكواكب السيارة في النظام الشمسي . ان بعض المؤلفين قد اشاروا بان S تقع قريبا من الجذر الرابع للرقم المشهور 10^{40} (انظر المعادلة٤ـ١٨) الا ان الشك في قيمته المتواضعة نوعا ما (بالمقارنة مع 10^{40}) قد جعل هذه الصدفة العددية الظاهرة ذات شان اقل اهمية من الصدف التي تمت مناقشتها من قبل .

ان بديلا للافتراض بان S هي ببساطة انعكاس للحالات البدائية ، هو افتراض ان الانثروبيا الذي يمثله S قد تولد بطريقة ما خلال الطور الزمني البدائي بسبب بعض التفاعلات التبديدية . اي ان الكون قد بدأ مثلا بقيمة لـ S ، $S \sim 1$ وان التوليد التالي للحرارة قد رفع هذه القيمة الى 10^{9} وفي تلك الحالة فمن الممكن ان تستخرج قيمته المرصودة من تفاصيل التفاعلات التبديدية .

ان مثالا واحداً هو اخماد « حالة تباين الخواص » سبق وان تم شرحه في القسم (4.3) ، ان امثلة اخرى تشمل اخماد الصوت (تحول فرقعة الانفجار الكبير الى حرارة) ، تأثيرات لزجة ، والتحولات الطورية بين حالات غريبة متناهية الحرارة للمادة . وان افتراضا مثيراً قد قدم من قبل العالم مارتن رييس Martin Rees والذي تحزر بان جيلا من نجوم ما قبل المجرات يمكن ان يكون قد تكون واحترق كليا (قبل زمن فصل الارتباط .tdec وزمن التساوي tequal) وان ناتجها الحراري الهائل قد استغل حراريا من قبل الغازات الكونية التي لاتزال متأينة ، لزيادة سرعها الفعلية .

وبوضع عمر نجمة نموذجية ذات كتلة كبيرة (المعطى العلاقة ٢ـ٢٨) مساوية الى زمن التساوي tequal والمعطى بالعلاقة (٤ـ٢٣) تنتج بالفعل العلاقة (٤ـ٨) .

وحديثا ظهرت طريقة اكثر اساسا جدا لمعالجة قيمة S ان الغرابة لم ان الطبيعة

خلال الانفجار الكبير قد خلقت 10^{9} فوتونات لكل بروتون ، ماهي في الحقيقة الاجراء من غرابة اكبر وهي كيف خلقت الفوتونات نفسها . ان البروتونات تنتج بصورة اعتيادية في المختبر عندما تحدث الارتطامات عالية الطاقة بين الجسيمات دون النووية ، ولكن في كل حالة ، فان ظهور البروتون يكون مصحوبا بمضاد البروتون (او جسيم سرعان ما ينحل الى مضاد البروتون) ان البروتونات المنفـردة لايمكن انتاجها مطلقا . لقد ابتدع الفيزيائيون كمية تدعى « عدد الباريون » لشرح سبب ذلك . ان البروتون والعديد من الجسيمات الثقيلة تحمل عدد باريون (+١) ومضاد البروتون (-١) ان قانون الحفاظ على «عدد باريون» يتطلب حينئذ بان كل بروتون جديد يخلق يجب ان يوازن عدده الباريوني بواسطة مرافقته لجسيم اخر ذي « عدد باريون » (١ -) ، وان افكارا مماثلة تنطبق على الليبتون :

ان الالكترون يجب ان يكون مصحوبا ببوزيترون . ان الانتـاج الاني مثلا لالكترون واحد وبروتون واحد فقط لايسمح به من قبل كل من قانوني الحفاظ على عدد الباريون وعدد الليبتون .

ويبدو من المناسب افتراض ان قوانين الحفاظ هذه تنطبق بالنسبة الى خلق المادة في الانفجار الكبير ، وفي تلك الحالة فلكل بـروتون انتـج كان هنـاك مضاد للبروتون مناظر له ، ولكل الكترون بوزيترون مناظر له ، والان عندما يصـادف بروتون مضاده او الكترون مضاده يحدث الفناء المزدوج ، لذلك فان جسيمات الحقبة الزمنية البدائية وبسبب كونها ممزوجة معا بكثافة عالية مع جسيماتها فقد كان لها وجود قصير جدا ، وبالرغم من ذلـك وفي درجات الحـرارة العاليـة التي سادت خـلال الانفجار الكبير ، فان ازواجا جديدة من الجسيمات ومضاداتها كانت قـد خلقت بمعدل هائل للتعويض عن الاستنزاف بسبب الفناء المزدوج . وتحت ظروف التوازن الحراري والتي من المحتمل ، ان تكون قد سادت معظم الفترة من 10^{-35}S الى 10^{-6} S فان التفاعلات المضادة للخلق المزدوج والافناء سوف يكونـان متعادلـين تماما . وعند ذاك يصبح امر استنباط الاعداد حالة التوازن لوفرة الانواع المختلفة من

الجسيمات مسألة واضحة .

ان الفوتونات وبسبب كونها قابلة التحول بسرعة الى ازواج من الجسيمات - مضادات الجسيمات سوف تكون عندئذ نادرة وعند الزمن 10^{-6} S فان جميع الجسيمات تقريبا سوف تكون قد كانت بروتونات ، نيوترونات ، الكترونات ، ميونات ، بيونات مع جسيماتها المضادة مع جزء ضئيل فقط من الفوتونات .

وبهبوط درجة الحرارة الى مادون القيمة $2\ mpc^2/K$ ، فان الطاقة الحرارية لاتتمكن بعد ذلك من ادامة البروتونات ومضاداتها لذلك فان الافناء السريع سوف لن يكون متوازنا مع التعزيز الحاصل بنفس السرعة . وبعد ذلك بحوالي ثانية واحدة فأن الجسيمات الباقية تكون قد لاقت نفس المصير . وان مجمل الطاقة الكتلية السكونية الاجمالية لجميع هذه الجسيمات قد تم تحويلها الى النيوترونز والفوتونات ، لذلك فان وفرة الفوتونات النسبية قفزت الى الاعلى بصورة مفاجئة .

ويبدو واضحاً ان قلة من البروتونات والالكترونات قد تفادت الافناء . واذا افترضنا بإن كل زوج من البروتون ، مضاد البروتون الذي تم فناؤه اعطى حوالي فوتون واحد فأن النسبة الحالية 10^9 ~ S توحي بأن بروتونا واحدا فقط (والكترونا واحدا) لكل بليون قد تفادى الفناء . وان السؤال الكبير الذي يطرحه هذا السؤال : اين هي مضادات البروتونات والبوزيترونات التي تفادت الفناء ايضا ؟ فأذا تم الالتزام بقوانين الحفاظ على الباريون والليبتون فأن كل جسيم في الكون يجب ان يكون له في مكان ما جسيم مضاد متناظر معه .

وتقليديا كانت هناك اجابتان لهذا السؤال : الاولى هي الادعاء بان مضادات الجسيمات هي بالفعل موجودة : وان الكون هو خليط متساو من المادة ومضاد المادة . ان الاعتراض الاساس لهذه الفكرة هو ان مثل هذا الخليط سوف يكون غير مستقر بصورة كبيرة لان اي مجابهة بين المكونين لهذا الخليط سوف تقودان الى فناء انفجاري . واذا كان ذلك حاصلا بصورة متكررة في مجرتنا فأنه سوف يولد خلفية من اشعة « غاما » Gama وان مثل هذا الاشعاع هو غير مرصود . وتضع تقديرات العالم

كاري ستيكمان Gary Steigman حدا اعلى قدره جزء واحد في 10^9 جزء فقط لكون مجرتنا مكونة من مضاد المادة .

ويمكن تجاوز هذه المشكلة بالافتراض بأن انفصالاً على نطاق واسع قد حدث بين المادة ومضاد المادة وقاد ذلك الى تكوين مجرات متكاملة متكونة بصورة غالبية من المادة او مضاد المادة . الا ان الاصدامات المجرية تحدث ايضا بين الحين والحين الآخر ، وان المعلومات عن اشعة غاما ترغم المرء بأن يلجأ الى فكرة ان الانفصال قد تم على مستوى مجاميع المجرات بدلا من المجرات المنفردة .

وفي حين ان كونا متناسقا من المادة ومضاد المادة هو ملفت النظر بروعته فأنه يبدأ بالظهور وكأنه قد خطط له نوعا ما خاصة وانه لم يتم اقتراح اية طريقة مقنعة لتسبيب انفصال المكونين الاساسيين الى مثل هذه المناطق الكبيرة . الا ان البديل التقليدي يبدو غير مرضي بنفس المقدار وان ذلك ببساطة هو ان نتقبل بهدوء بأن الكون غير متناسق ، ليست هناك كمية كبيرة من مضاد المادة . لقد خلق الكون بزيادة طفيفة اي (حوالي جزء في كل 10^9 جزء) من المادة ، وتلك هي المخلفات التي بقت من الانفجار الكبير لتكوين المجرات وتكويننا نحن .

وبموجب هذا الحوار فأن محتوى كوننا من الباريون والليبتون هو حالة بدائية فقط . شيء غرس في الكون عند خلقه ويخرج كليا من نطاق الشرح المنطقي المستند النظرية الفيزيائية وفي تلك الحالة فأن نسبة الفوتون/البروتون S والتي تعكس هذه الوفرة الزائدة البدائية للمادة بالنسبة الى مضاد المادة هو رقم تم اختياره من قبل الطبيعة منذ البداية وله نفس الكيان مثلا كنسبة mp/me . اننا لا نعلم لم ان S له هذه القيمة الخاصة التي يملكها ، الا انه اذا لم تكن هذه القيمة فأن الكون سوف يكون مختلفا جدا بهيكله ومرة اخرى نعود الى التهرب غير المرضي المتمثل بالقول ان العالم هو ما عليه بسبب انه كان ما كان عليه .

ان فكرة اكثر اقناعا بكثير تعتمد على المحاولات الحديثة لتوحيد قوى الطبيعة الضعيفة الكهرومغناطيسية والقوية في مايدعي النظرية الموحدة العظمى . ان هذه

النظريات كما تم بيانه باختصار في القسم (٤-١) تتنبأ بأن البروتون يمكن ان ينحل في نهاية الامر الى بوزيترون وبتصرفه هذا فأن قانون الحفاظ على الباريون واللليبتـون تكونان قد خرقتا . ولذلك يكون الطريق مفتوحا لخلق المادة بدون خلق كمية مساوية من مضاد المادة .

ان سبب خرق القوانين التي كانت تعتبر مقدسـة سابقـا له عـلاقة بـطبيعة الكوارك والليبتون . ان العديد من الفيزيائيين يعتبرون هذه الجسيمات اسـاسية فعلا .

ولذلك فمن المعقول ان نستوضح العلاقة بينهما . فمن المحتمـل ان تكون هناك ستة انواع لكل منها . ان الكوارك خاضعة للتفاعل القوي في حين ان الليبتون تشعر فقط بالتفاعلات الضعيفة والكهرومغناطيسية . الا ان التمييز في النظريات الموحدة بين هذه التفاعلات ، والتي كانت تعتبر سابقا تفاعلات منفصلة تماما ، تبدو مشوشة وبصورة مماثلة فان التمييز بين الليبتون والكوارك هو مشوش قليلا وان ذلك هـو سبب تمكن البروتـون (المتكون من الكـوارك) من ان يتحول الى بـوزيتـرون (ليبتون) .

وعند درجات الحرارة العالية فأن التمييز بين القوى الثلاثـة وبين الليبتـون والكوارك يفقد نهائيا . ان المادة تبدأ طورا جديدا مفقود السمات نـوعا مـا . ان درجات الحرارة هي هائلة حوالي 10^{30} K — 10^{28} K وعندها يكـون معدل الـطاقة الحرارية KT ليس اقل بكثير من طاقة كتلة بلانك Planck mass . ان درجات الحرارة هذه سوف تكون قد سادت قبل حوالي 10^{-35} S بعد بدء حدوث الانفجار الكبير وفي تلك الحقبة الزمنية فأن العلاقة بين المادة ومضاد المادة سوف تكون قد تغيرت بصورة جذرية .

تقترح النظرية بأن القوة الموحدة العظمى والتي تسيـطر بمفردهـا على جميـع تفاعلات الجسيمات (عدا الجاذبية) . قد نقلت بواسطة جسيمات عظيمة الثقل ، تلعب دورا مماثلا للدور الذي تلعبه الفوتونات والكلونات Zs,Ws وبأنخفاض درجة

الحرارة فأن هذه الجسيمات عظيمة الكتلة قد انحلت الى جسيمات اخف اكثر شيوعا . الا انه وبسبب احتمال عدم الحفاظ على الباريون ، فأن نتائج الانحلال يمكن ان يظهر زيادة طفيفة للمادة على مضاد المادة ، ولربما بالنسبة المطلوبة $10^{-9}/1 + 1$ والتي تصبح $S \sim 10^9$ بعد الفناء في نهاية المطاف لجميع مضاد المادة .

ان ماهو مدهش حول هذا الحوار ، هي فرصتنا في امكانية احتساب العامل الكوني الاساس S من الفيزياء المبدئية - فيزياء النظرية الموحدة العظمى - ان عددا من الفيزيائيين قد حاولوا ذلك ، وبصورة نموذجية فأن المرء يحصل على

$$S \sim (\text{ratios of quark masses}) \times (m_P/m_X) \qquad (4.26)$$

حيث ان mx هي كتلة الجسيم عظيم الكتلة . واذا وضعنا الارقام المتعلقة بذلك فأنها تقود بالفعل الى تقديرات لـ S صحيحة الى اقرب قوة للعشرة .

واذا تم برهان صحة هذه الافكار ، سوف يعني ذلك بأن المعالم المهمة للكون والتي تعتمد على $S \sim 10^9$ مثل تواجد المجرات ، كون نسبة الهيدروجين/الهيليوم) هي حوالي 4 هي عواقب للقيم التي اتخذتها العوامل الاساس للنظرية الموحدة العظمى ، مثل الكتل الثقيلة جدا ، ولو حدث ان اختلفت هذه بقدر متواضع نوعا ما ، فان الكون سوف يكون مختلفا بصورة جذرية وبصورة خاصة اذا كان mx >> mp فأن الكون سوف يكون حارا جدا للغاية وبدون مجرات .

(٤ ـ ٥) التنافر الكوني . Cosmic repulsion .

لحد الآن ، كنا قد اهملنا الكمية Λ في المعادلات التجاذبية . وكما تم مناقشته في الفصل الاول فليس هناك دليل مرصود بأن Λ تختلف عن الصفر . وكما تم شرحه فى القسم (١-٢) فأن هذا المعامل الذي يدعى بالثابت الكوني قد ادخل الى الفيزياء في الاصل من قبل آينشتين Einstein الذي رغب في ان يشيد نموذجا لكون ثابت . (كان ذلك قبل اكتشاف هبل Hubble لأنتشار الكون) وللتوصل الى ذلك كان عليه

ان يقترح قوة يمكنها ان تعادل القوة الجاذبة للجاذبية بين النجوم ويمكن التوصل الى ذلك بواسطة مصطلح ٨ في معادلات المجال التجاذبي .

ولسوء الحظ بالنسبة الى آينشتين Einstein فأن نموذج الكون الثابت الذي نتج عن ذلك حدث ان كان مغلقا فضائيا ومحدد الحجم ، هو غير مستقر . ان اضطرابات طفيفة سوف تسبب في انهياره او انتشاره بمعدل متسارع . وقد تخلى آينشتين Einstein عن المعامل ٨ بنفور .

ان الاكتشاف اللاحق للانتشار الكوني ، قد الغى الحاجة لنموذج ثابت الكون والغى معه الحاجة الى مصطلح ٨ ، ان التأثير لهذه الخبرة الاولية غير المحظوظة مع ٨ ، قاد العديد من علماء الكون للاعتقاد على اسس جمالية بأن هذا المصطلح يجب ان يكون غير موجود اي ان ٨ يجب ان يكون صفرا تماما .

ان التطورات الحديثة قد غيرت الصورة جذريا مرة اخرى ولقد تم ذكره في الفصل الاول ان لـ ٨ تأثير قوة تنافر تعمل عبر الفضاء الخالي . ان مفهوم الفضاء الخالي هذا اليوم هو فكرة معقدة فأستنادا الى نظرية الكم فأن الفراغ - غياب جميع الجسيمات - هو ليس مثل عدم الفعالية فحتى ان الفراغ المثالي هو مملوء بالقوى والمجالات .

ان مبدأ اللامحققية لهايسنبرك[٩] Heisenberg Uncertainty Principle[١٠] تسمح بان تستدان ، كمية من الطاقة E △ لفترة t △ ، واذا كانت t △ قصيرة بالقدر الكافي فأن هذه الطاقة يمكن ان تستعمل لتوليد ما يدعى بالجسيمات المفترضة والتي تختفي بسرعة لسداد الدين . وان هذه هي الطريقة التي تشرح كيف ان القوى بين جسيمات المصدر يمكن ، ان تنقل بأستعمال الجسيمات[١١] الساعية[١٢] المفترضة كما تم مناقشته في القسم(١-٣) الا ان الجسيمات المفترضة يمكن ان تظهر حتى في غياب جسيمات المصدر لذلك فأن حالة الفراغ تحتوي على كميات غير محددة من هذه الجسيمات قصيرة العمر . وان كل جسيم يتواجد لفترة عابرة ولكن بالرغم من ذلك فانه قادر على ان يتفاعل ويرتبط بتفاعلات معقدة . ان هذا المعترك الهائج المتذبذب

يبذل تأثيرا جاذبيا بنفس الطريقة التي تبذلها المادة الاعتيادية .

ان من الممكن استنباط طاقة الفراغ المعقد هذا . ان الحسابات مملة بسبب ظهور عدد لا يحصى من الكميات الواجب تجاوزها للحصول على نتائج ذات معنى . ان طاقة الفراغ الاجمالية سوف تضم مساهمات من جميع الجسيمات الممكن تصورها في الطبيعة ، الالكترونات ، البروتونات ، الفوتونات ، Ws والكلونات . . الخ ان معظم هذه الجسيمات تساهم بطريقة واضحة نوعا ما . الا ان نوعا مهما من الجسيمات يدعى بالجسيمات غير الموجهة هو اكثر تعقيدا . ان من الممكن للجسيمات المفترضة غير الموجهة ان تتكون في حالة فراغ باكثر من طريقة واحدة وان هذه البدائل لحالات الفراغ تختلف كثيرا بطاقاتها . وفي حالة نموذجية فانها تعادل $10^{25}\ Kg/m^3$ وانه لمبدأ فيزيائي عام بان النظام سوف يحاول التوصل الى حالة الطاقة الدنيا وان ذلك هو صحيح بالنسبة الى الفراغ . ان حالات الطاقة العليا الاعلى سوف تكون غير مستقرة ولربما تتحول بسرعة الى حالة الطاقة الدنيا .

ان احد التأثيرات لهذه الطاقة الفراغية هي عمل مساهمة في المعامل Λ . ان التصرف الحركي للفراغ لايمكن تمييزه عن مصطلح كوني هي معادلات آينشتين لمجال الجاذبية لذا فاننا يجب ان نضيف للمعامل Λ الاعتيادي (ويدعى بعض الاحيان بالمكشوف Bare) تصحيح الفراغ الكمي . انّ الكمية الصافية هي مانراه بالفعل في الطبيعة . وهنا يكمن المعلم المذهل . ان مساهمات الكم للمعامل Λ هي حوالي خمسين مرة للقوة عشرة اكبر من الحد الاعلى المحدد بواسطة الرصد على القيمة الفعلية . وبوضوح فان معامل Λ المكشوف ومعامل Λ الكمي هما متوافقان بدقة بحيث انهما يلغيان تماما احدهما الاخر لحدود افضل من جزء في 10^{50} جزء . ويجب ان نفترض انه لاجل الحصول على قيمة اقل من $10^{-53}\ m^{-2}$ (الحد الاعلى على المرصود) فان مساهمة للفراغ بقدر $10^{-2}\ m^{-2}$ مثلا لها علامة معاكسة لمعامل Λ المكشوف ومقدار يساويه بدقة متناهية للغاية .

انّ حجم مساهمة الكم للمعامل Λ يحدد بالعوامل المايكروفيزيائية التي تدخل

في نظرية المجال الخاصة قيد البحث ، فعلى سبيل المثال فان الجسيمات غير الموجهة في نظرية واينبرك ـ سلام . Weinberg — Salam Theory للقوة الكهربائية الضعيفة تساهم بـ

$$\Lambda_q = -\pi G m_\phi^2/\sqrt{(2)}c^4 g_w \sim -10^{-2}\ \mathrm{m}^{-2},$$

حيث ان m_ϕ هي كتلة ، لجسيمات غير الموجهة . الا ان

$$\Lambda_{bare} + \Lambda_q \lesssim 10^{-53}\ \mathrm{m}^{-2}.$$

اذا حدث وان تغيرت G او g_w عن قيمها الفعلية حتى بجزء واحد في 10^{50} جزء فان التوازن الدقيق ضد Λ_{bare} سوف يظهر وان هيكل الكون سيكون مختلفا بصورة جذرية ، اضافة الى ذلك فانه في حالة مايدعى بالنظريات الموحدة العظمى فان الدقة في التوازن يجب ان تزداد الى افضل من جزء واحد في 10^{100} .

وماذا سيكون تأثير قيمة لـ Λ اكبر من $10^{-52}\ \mathrm{m}^{-2}$ ، اذا اعدنا الى الذاكرة بان Λ تقود الى قوة تعاكس الجاذبية وتنمو قوتها بازدياد المسافة ، فان تواجد لمصطلح Λ بالرغم من صغره ، في كون في حالة انتشار مستمر ، يعني بان تخفيف المادة سيكون في نهاية الامر كبيرا ، بالقدر الكافي الذي يسمح للقوة المتنافرة من ان تحصل على الصدارة . وبعد حدوث ذلك فان الكون سيبتدىء بالانتشار بصورة اسرع واسرع .

ان وجود مصطلح Λ يعدل المعادلة (٤-١٣) كما يلي :

$$\dot{a}^2/a^2c^2 + k/a^2 - \Lambda = 8\pi G\rho/3c^4. \qquad (4.27)$$

وبوضوح ففي حالة كون a صغيرا فمن الممكن ان نهمل Λ كما قمنا به فعلا في المناقشات السابقة حول الكون البدائي الا انه اذا كان a كبيراً فان تأثيرات Λ

سوف تسود على تأثيرات الحدود الاخرى .

واذا اهملنا الحدين K و P فان المعادلة (٤-٢٧) تحل

$$a \propto \exp(c\Lambda^{\frac{1}{2}}t), \qquad (4.28)$$

اي ان الكون سوف ينتشر بصورة اسية . وان المنحني المبين في الشكل (٣) سوف لا ينطبق حينذاك على الازمان اللاحقة . وبدلا من ان ينحني نزولا باستمرار فان المنحني سوف يتجه الى الاعلى مرة اخرى بمعدل متسارع .

وفي حالة $\Lambda > 0$ فان قوة Λ تساعد بالواقع الجاذبية لذا فان الكون ينقبض على مقياس زمن $\sim 1/c\Lambda^{1/2}$. ان غياب اي اثر للنمو الاسي او اعادة الانقباض هو الذي يمكن علماء الكون . من وضع حد على مقدار ٨ . فاذا كان ٨ عشرات المرات اكبر فعندئذ سيكون نمط انتشار الكون مختلفاً جداً ولكن اذا كان ٨ عدة مرات القوة ١٠ اكبر فان انتشار الكون سيكون انفجاريا ويشك في امكانية تكون المجرات بمجابهة مثل هذه القوة المحطمة . واذا كان ٨ سالبا فان الانفجار سوف يستبدل بانهيار كارثي للكون . وانه لمدهش حقا بان مثل هذه التأثيرات الخطيرة سوف تنجم من تغيير في قوة الجاذبية او القوة الضعيفة بمقدار اقل من جزء في 10^{40} جزء . وقد يمكن الافتراض بان التوافق الدقيق بين Λ_{bare} و Λ_q بمثل هذه الدقة المذهلة يوحي بان مبدأ جديدا اساسياً هو قيد العمل والذي يتطلب ان يكون ٨ صفرا بالضبط كما رغب آينشتين وبدلا من ان نعزي صغر ٨ الى اختزال عرضي لكميات كبيرة فانه يمكن ان يعتبر مبدأ فيزيائياً اساساً واجب الفرض على الطبيعة .

وبالرغم من ان الثابت الكوني لايمكن تمييزه عن الصفر في حقبتنا الزمنية الحالية فان الابحاث الحديثة على النظرية الموحدة العصمى ، توحي بانه خلال الطور البدائي ذى الحرارة العالية فان طاقة الفراغ يمكن ان تكون قد كانت مختلفة جوهريا

معطية ، بصورة وقتية ، لـ ٨ قيمة هائلة ان بعض علماء الكون يعتقدون بان هذه القوة المتنافرة هي في الحقيقة سبب الانفجار الكبير . وانهم يقترحون بانه عند حوالي 10^{-35} S فان الكون كان قد بدأ طورا قصيرا ، غير انه طور مهم ، بالانتشار السريع

to produce a short-lived de Sitter phase

غير المحدد حيث هيمنت ٨ على تأثيرات الجاذبية الاعتيادية تخلق طور ما يدعى (دي

this model is known as the "Inflationary universe" Scenario

ستر) قصير العمل De Sitter ان هذا النموذج يعرف بحوار الكون المتضخم ، وقد تم الادعاء بان التضخم يمكن ان يوفر شرحا طبيعيا لانسجام وانتظام الكون ولم ان ρ هي قريبة لهذا الحد من ρ_{crit} .

It is claimed that inflation could provide a natural explanation for the homogeneity and isotropy of the universe and for why ρ is so close to ρ_{crit}

الفصل الخامس

the anthropic principle.

« المبدأ الانثروبي »
مبدأ تطور الجنس البشري



ان جدول المصادفـات الطبيعيـة غير الاعتيـادية ، والتعـاون العفوي عـلى مايبدو ، اللذان تم استعراضهما في الفصلين السابقين يقدمان دليلا واضحا بان شيئا ماهو «وراء هذه المصادفات» . وفي بداية الفصل الرابع تمت الاشارة الى ان هناك على مايبدو مبدأ خفي ينظم الكون بطريقة متناسقة . والا كيف يمكن المرء ان يوضح كيف ان طاقة الانتشار للكون هي ليست متوافقة فقط مع قوتها الجاذبية لضمان ادامة البقاء لفترة 10^{60} مرة على الاقل من زمن دورتها الطبيعية ، بل انها متوافقة ايضا ، بنفس الطريقة في كل مكان حتى في مناطق منفصلة عن سبب من الفضاء ؟ وماهي الايضاحات الاخرى التي يمكن ان تفسر الالغاء التام تقريبا بين Λ_q و Λ bare او الغياب الكامل لتباين الخواص في الكون الممكن رصده ؟

وبالرغم من الحاجة الواضحة لاكتشاف مبدأ كوني من الفيزياء الاساسيه يمكنه ان يوضح هذه المعالم الاعجازيه ويوضح ايضا المصادفـات المدهشـه من الفيزيـاء الميكروسكوبية التي تم شرحها في الفصل الثالث ، فان مثل هذا المبدأ لم يتم طرحه ، وبدلا عن ذلك ، فان المحاولة المنطقية للايضـاح بصورة علميـة لما يبـدو للهيكل المخطط لعالمنا الطبيعي لاتستند على الفيزياء المبدئية على الاطلاق بل تستند على علم الاحياء . ان هذا النمط من المناقشات يناشد معلما من معالم الكون لايمكن نكرانه ، والذي قد يبدو غير ذى سأن لاول وهلة ، وهو نحن البشر .

ان «المراقب» لايؤخذ في الحسبان عادة عند تفحص العالم الطبيعي . ويفترض عادة باننا هنا «للمشاهدة او النزهة فقط» . ان بعض العلماء قد تحدوا هذه الفرضية التقليدية واعلنوا ان هيكل العالم الطبيعي لايمكن فصله عن سكانه الذين يوصدونه بمفهوم اساسي جدا . وانهم يجادلون بان هناك حقا « مبدأ موجه » يعمل على التنظيم الدقيق للكون لدرجة من الدقة يصعب تصديقها . الا انه ليس مبدأ فيزيائي بل هو مبدأ انثروبي مبدأ تطور الجنس البشري .

(٥-١) الدلالات بالنسبة لعلم الاحياء

اقنعت الفصول السابقة ، القارىء بان هيكل العالم الطبيعي يعتمد بدقة على مجموعة من المصادفات العددية الواضحة . ان العديد من معالم الكون الاساسية نوعا ما . تتحدد بصورة جوهرية بالقيم المعطاة للثوابت الاساسية للطبيعة مثل G, α , mp وغيرها وان هذه المعالم سوف تصبح متغيرة جوهريا لو ان هذه الثوابت قد اتخذت قيما مختلفة حتى ولو كان اختلاف القيم بسيطا . ومن الواضح بانه لاجل ان تخلق الطبيعة كوننا مشابها حتى ولو كان هذا التشابه ضئيلا فان العديد من فروع الفيزياء ، غير المتصلة بوضوح ، يجب ان تتعاون لدرجة ملحوظة .

وان كل ذلك يوجب طرح السؤال : كم من المجال غير المحدد للقيم المحتملة التي كان يمكن للطبيعة ان تختارها للثوابت الاساسية ومن الانواع غير المحددة للحالات البدائية التي يمكن ان تكون قد ميزت الكون البدائي فان القيم والحالات الفعلية تتواطأ لاجل خلق المدى المميز للمعالم الخاصة جدا التي نلاحظها . فبوضوح ان الكون هو مكان مميز جدا وانه منتظم لدرجة متناهية على مقياس واسع ، وبنفس الوقت فانه غير منتظم بالدقة التامة التي تمنع معها تكوين المجرات ، ومن خواصه ان انثروبيا البروتون واطئة جدا ولذلك فانه بارد بدرجة تسمح بحدوث التفاعلات الكيميائية . وان التنافر الكوني هو صفر تقريبا . وان الانتشار الكوني متوافق مع الطاقة المحتواة لدرجة لاتصدق من الدقة ، وقيم لشدة قوى الكون والتي تسمح بتواجد النواة وفي نفس الوقت لاتحرق جميع الهيدروجين الكوني وعدد كبير اخر من المصادفات المحظوظة الواضحة .

ان هذه المصادفات قد لوحظت من قبل العديد من العلماء فان كلا من ايدنكتون وديراك Eddington & Dirac قد دهشا كثيرا لظهور العدد 10^{40} في سياقات مختلفة (انظر القسم ٤-١) وقد اسسا نظريات فيزيائية دقيقة حول هذه المصادفات .

لقد حاول ادينكتون Eddington استنباط العدد من مباديء طبيعية اساسية جديدة في حين ان ديراك Dirac اقترح بان هذا العدد الكبير هو في الحقيقة معتمد على الزمن ويعني ذلك $G \propto t^{-1}$ وقد جرى تطوير نظرية ديراك Dirac في وقت لاحق من قبل العالم باسكوال جوردان Pascual Jordan (ومن ثم من قبل ديراك Dirac نفسه) . لقد حاول جوردان Jordan ايضا ، شرح العلاقة(٤-٣)على اسس تبتعد جذريا ، عن الفيزياء التقليدية . وفي السنوات الاحدث جلب كارتر Carter انتباه العالم الى مادعاه "بالمصادفة جديرة الملاحظة" للعلاقة والتي تضمن بان النجوم النموذجية تقع بين حالتي العمالقة الزرق والاقزام الحمر .

ان العديد من هؤلاء الكتاب قد تـأثروا بشـدة بحقيقة ان تـواجدنـا نحن كمخلوقات واعية يعتمد بدقة على هيكل العالم الطبيعي الذي ندركه . وقد جادلوا بانه لو حدث وان فشلت تلك الظروف المتوافقة بدقـه ، والتي تمت مناقشتهـا في الفصول السابقة ، لكانت الحياة ـ بالتأكيد الحياة كما نعرفها ـ غير ممكنة .

لقد اشار كارتر Carter بان وجود اي كائن حي يمكن وصفه كمراقب سوف يكون ممكنا فقط ، ضمن توافقيات محددة معينة من العوامل . ويعبر جون بارو عن هذه القضية بصورة مختلفة نوعا ما ان وجودنا يفرض تأثيرا خياريا صارما على نوع الكون الذي يتوقع لنا ان نرصده وفي مقالة تبتديء بجملة لاتنسى « نحن موجودون » فان نانوبولوس D. V. Nanopoulos تبنى نفس الشعور حول مسألة نسبة الفوتونات الى البروتونات في الكون : فهو يتمسك بالقول "ان وجودنا يفرض حدودا شديدة على هذه النسبة".

ان تعليق كارتر Carter يعني بجوهره ، بانه لو حدث وان اتخذت العوامل الاساسية قيما عدديـة تختلف كثيرا عن قيمتهـا الحقيقية ، فـاننا سـوف لن نكون مـوجودين للتعليق عـلى هذه الحقيقـة . الا ان بـاردو ونـانـوبـولـوس Barrow &

Nanopoulos يبدوان وكأنهما يصرحان شيئا اكثر ايجابية بقليل بان وجودنا يحدد هيكل الكون ، بل في الواقع ، قد يختار هذا الهيكل ايضا وان هذه الفكرة قد صورت بكلمات جون ويلير John Wheeler هذا هو الانسان فماذا ينبغي ان يكون عليه الكون ؟

ان استدعاء العلاقة الانسانية في هذا السياق الجارف قد سمي بالمبدأ الانثروبي « The Anthropic Principlc » وعبر السنين فان هذا المبدأ اخذ يعني اشياء كثيرة للعديد من البشر.وقبل ان نناقش التفسيرات المختلفة للمبدأ الانثروبي ، سيكون نافعا ان نبدأ بايضاح هذا المبدأ باحسن صورة ، حيث لا يمكن نفي اهمية وجودنا نحن .

Explaining the Large-number coincidences.

(٥-٢) شرح مصادفات العدد الكبير

ان واحدا من اقدم البراهين المحددة ، بان علم الاحياء يمكن ان يستعمل لايضاح معلم من معالم عالمنا الطبيعي ، والذي بدون هذا البرهان يبقى هذا المعلم غامضا ، يعود الى روبرت ديك Robert Dicke ، فقد اعلن عام ١٩٦١ بان العالمين ايدنكتون وديراك Eddington & Dirac قد انحرفا عن الاتجاه الصحيح عند قيامهم بالبحث عن مبادىء اساسية جديدة للفيزياء لشرح المصادفةالواضحة(٤-١٥)وهي ان عمر الكون بالوحدات النووية هو بنفس ضخامة اس العدد عشرة ، مثل نسبة القوى الكهربائية الى القوى التجاذبية بين بروتونين .

وبوضوح ان العمر"الحالي"للكون يعرف بتواجد الجالية الانسانية . ان المجتمع التقني وبضمنه قياسات الثوابت الاساسية قيد البحث في هذا المجال ، قد شغل جزء صغير للغاية من فترة عمر الكون ، لذا فانه يمكن ان يعتبر محددا للحقبة الزمنية الخاصة . الزمن الان ، tnow ان الغموض يكمن في سبب كون ان tnow تتصف

بعلاقة عددية بالنسبة الى tN هي نفس العلاقة التي تتصف بها القوة الكهربائية بين بروتونين بالنسبة الى التجاذب التثاقلي بينهما .

لقد جادل ديك Dicke بان الزمن tnow هو ليس لحظة عشوائية مختارة للزمن بل انها ذات صلة وثيقة بمقاييس الزمن لبعض التفاعلات الطبيعية في الكون والتي هي نفسها ، متطلبات اساسية لتواجد الحياة الواعية ومن ثم التقدم التقني . ويمكن للمرء ان يتخيل مجموعة من هذه المتطلبات الاساسية ، الا ان المطلب الاساسي المختار من قبل ديك Dicke يتعلق بالعناصر الاثقل من الهيدروجين . ان الحياة على الارض تستند على الكاربون في حين ان عنصري النايتروجين والاوكسجين هما حيويان ايضا . ان هذه العناصر لم تتواجد في الكون البدائي وان وجودها بوفرة معقولة يعزى الى التركيب النووي الذي يحدث داخل النجوم .

خلال الانفجار الكبير ، توفرت درجات الحرارة العالية بالدرجة التي تسمح بتكوين العناصر الثقيلة ، الا ان ذلك قد دام لفترة عدة دقائق فقط ، وان عنصر الهيليوم فقط (والذي هو غير ذي شأن بالنسبة للحياة) قد تولد بغزارة . ومن الناحية الاخرى فان درجات الحرارة العالية 10^{7} K ~ كانت سائدة في اجواف النجوم لبلايين السنين ومكنت بذلك جزء كبير من المادة النجمية الى عناصر ثقيلة . ولاجل ان تصبح هذه العناصر كتل البناء الكيميائي للحياة فانها يجب ان تنتشر حول المجرة . وكما تم شرحه في القسم(٣-١) يمكن ان يحدث ذلك عندما تصل النجمة الى نهاية عمرها وانها قد استهلكت وقودها النووي . واذا كانت النجمة عظيمة الكتلة نوعا ما فان من المحتمل ان تنفجر بعنف الى نجمة فائقة التوهج « Supernova » ناشرة محتوياتها في الفضاء بين النجوم . وان اجسامنا مكونة من رماد النجوم الميتة منذ فترة طويلة ، كما عبر عن ذلك السيد جيمس جيينز Sir James Jeans في احدى المرات .

واستنادا الى منطق ديك Dicke لايمكن للحياة ان تتكون في الكون الا بعد

مرور جيل واحد على الاقل من النجوم عبر دورة حياته ، وان تكون النجوم المتفجرة Supernova قد بذرت انقاضها المحتوية لعنصر الكاربون في المجرة . ومن الناحية الاخرى فان استهلاك وقود الهيدروجين من قبل النجوم هو عملية لايمكن عكسها ، لذلك فان هذه الدورات لايمكن ان تعاد الى مالا نهاية له . وبعد مرور عدد قليل من اجيال النجوم سوف ينضب خزين المجرات من الوقود النووي ، بصورة جذرية . وان نجوما جديدة (على الاقل نجوم مستقرة مثل الشمس) سوف تصبح نادرة نوعا ما ، وحينذاك ستبدأ المجرة بالبرود ، ويخيل للمرء بان الحياة حينئذ ستغدو مستحيلة .

ان هذه الافكار ، يمكن ان تقود المرء لافتراض ، ان الحياة سوف تتواجد في الكون خلال الحقبة الزمنية من tx الى 10 tx مثلا حيث ان tx هو معدل عمر نجمة معتدلة الكبر . لقد استنبطت الكمية tx هذه بطريقة تقريبية في القسم(٢-٣)ومن المعادلة (٢-٢٨) اننا نجد :

$$t_* \sim \alpha_G^{-1} t_N \sim 10^{40} t_N.$$

واذا حدد المرء الزمن الان tnow مع tx لحد اقرب قوة للعشرة ، بالاستناد الى المنطق باننا كمخلوقين احياء ، يمكن ان نجد انفسنا مدركين للكون خلال الحقبة الزمنية من tx الى 10 tx فقط ، فعندئذ تفسر احدى مصادفات العدد الكبير ويتضح بانها ليست مصادفة على الاطلاق ، ولا هي مظهر من مظاهر فيزياء غير معلومة لحد الان . بل انها نتيجة واضحة من الفيزياء والاحياء الاساسيتين .

ويبدو بوضوح ، ان تفسيراً احيائياً لمعلم اساسي لعالمنا قد نجح حيث فشلت الفيزياء النظرية . وان الحقيقة المتمثلة بان tnow تقارن بـ tx الى زيادة اقرب قوة للعشرة فقط هو ليس عيبا جديا في هذه «المناقشة» حيث ان الاعداد الكبير هي متساوية بصورة تقريبية على اية حال ، ويمكن ان تعرف بان لها مجموعة من القيم

تعتمد فيها اذا استعمل المرء مثلا ، كتلة الالكترون بدلا من كتلة البروتون . الا ان جميع هذه الاختلافات هي على اي حال صغيرة جدا بالمقارنة مع حجم العدد الهائل 10^{40} . ان الحقيقة المتمثلة بان tx تقع بهذا القرب بوحدات tN من هذا العدد هي حقيقة مدهشة .

ان من الممكن ان نستخرج الحد الادنى لـ tx بطريقة بديلة ، لا تتعلق بمقياس الزمن للتطور النجمي. لقد اشار العالمان بيرناردكار ومارتن رييس Carr & Rees بان الحياة تعتمد على تواجد المجرات ، وان هذه المجرات تتكون فقط بعد الحقبات الزمنية زمن الانحلال tdee والزمن المساوي tequal (انظر القسم ٤-٤) . واذا قبل المرء بالنظرية الموحدة العظمى التي تتنبأ بنسبة فوتون/بروتون $S \sim 10^{9} \sim$ $\propto G^{-1/4}$ بالاستناد على الفيزياء الاساسية (بدلا من اعتبار S كحالة ابتدائية ولذلك فانه معامل حر) فان المعادلة (٤-٢٣) تعطينا فورا .

$$t_{qual} \sim \propto_G^{-1} t_N \qquad t_{equal} \sim \alpha_G^{-1} t_N$$

and hence $t_{now} \gtrsim t_{equal} \sim 10^{40} t_N$

ان هذا النمط من الجدل ـ بان المراقبين البشر يختارون مكانا في الفضاء يمكن ان يكون مكانا غير نموذجي ـ يتعارض مع روحية الثورة الكوبرنيكية Copernican Revolution ان نكولاس كوبرنيكوس Nicholas Copernicus ، ينكر انه للموقع المميز للارض في الدينامية الكونية قد انشأ تقليدا اثر على التفكير العلمي لاربعة قرون ، وفي معظم المجالات يمكن ان تعتبر الارض غير اعتيادية للغاية بالنسبة لكيانها ، وانها حالة نموذجية بالنسبة الى عدد هائل من الكواكب السيارة المشابهة قرب نجوم مماثلة في مجرات مماثلة . الا ان وجودنا ككائنات حية ، قد اختار لها مكانا في الفضاء هو في بعض الامور غير نموذجي وبالرغم من الارض قد لاتدعي كيانا مميزا ضمن الكواكب السيارة فان الحقيقة المتمثلة بـاننا نجـد انفسنا نعيش عـلى سطح

صلب ، في حين ان الاكثرية الساحقة للمادة الكونية ، هي على هيئة غيوم غازية رقيقة ، او كرات من المواد عالية التأين الحارة ، وان الحقيقة المتمثلة باننا نعيش قرب نجمة مستقرة ، في حين ان العديد من النجوم هي ذات تصرفات شاذة او انها متجمعة ضمن انظمة متعددة ، غير ملائمة للكواكب السيارة الهادئة ان هذه الحقائق هي ليست مصادفات . ويرجح باننا سوف لن نتمكن من الاستمرار في المعيشة في البيئة المعادية المقترنة بالمادة الكونية الاكثر نموذجية . وبصورة مماثلة فان موقعنا الزمني في الكون يتحدد بحقيقةان الكون يتطور ، وخلال تطوره من آتون كثيف حار الى مجموعة من المجرات المتناثرة المحترقة نهائيا ، فان هناك فترة زمنية محددة نسبيا فقط ملائمة للحياة .

ويمكن بالطبع ان نجد العيب في مناقشة ديك Dicke لعدد من الاسباب . الاول انها تستند الى مفهوم للحياة كما نعرفها نحن . فمن الممكن تصور بالرغم من انه بعيد الاحتمال على اي حال ، بان انواعا اخرى من الحياة خارج الارض يمكن ان تتواجد وان مثل هذه الحياة تستند على تفاعلات طبيعية اخرى مختلفة جدا . ويعد من قبيل التعصب الشديد ، خاصة عندما تقوم بتفحص الامور الاساسية ، بان نعتبر بان الحياة الكيميائية المعتمدة على الكاربون هي القناة الوحيدة للذكاء والتكنولوجيا (التقدم التقني) .

ومن الناحية الاخرى ، يمكن ان تكون هناك جدالات اساسية لسبب عدم امكانية تطور اي نوع من الحياة الى المستوى الموصوف بالذكاء ، الا لحين اكمال بعض التفاعلات الطبيعية ان الحياة ، باي تعريف كان ، تنطوي على درجة عالية من التعقيد والتنظيم واللذين يتطلبان بعض المتطلبات الاساسية . فعلى سبيل المثال ، ان القانون الثاني للدينامية الحرارية ، والذي ينظم جميع الفعاليات الطبيعية ، يتطلب تواجد نوع من حالة عدم التوازن ، قبل ان يظهر النظام . ومن الممكن ان

تكون هناك مبادىء اساسية للغاية التي تحدد معدل تعاظم النظام والاعلام . وبذلك تحدد معدل تطور الحياة ، بالاستناد على القوى الطبيعية الحالية .

ومن المحتمل ، ان تكون نقطة الضعف الكبيرة في الجدل الانثروبي ، كما تم استخدامه في المثال الحالي ، تتعلق بالحد الاعلى للزمن الحالي tnow فبالرغم من ان المجرات سوف تصبح في نهاية المطاف غير ملائمه للحياة ، عندما تحترق النجوم نهائيا في فترة بلايين السنين الباقية فسيكون من المدهش اذا لم تتطور التكنولوجيا الى الحد الذي تتمكن معه من التغلب على هذه المشكلة . فيمكن للمرء ان يتصور بسهولة البيئة الاصطناعية الملائمة للحياة تمتد بصورة مطلقة في غور المستقبل . لقد اجرى دايسون Dyson تحليلا ثاقبا لامكانية البقاء على الحياة واستنتج بان مجتمعاً واسع الادراك بالقدر الكافي يمكن ان يتوصل الى البقاء غير المحدد ، بواسطة التعامل الحذر اللائق مع البيئة . ولاجل التغلب على النضوب المحتم لمصادر الطاقة الحرة وبالتالي تفادي الالتحام « بحرارة الموت » المشهورة المحققة الوقوع بالنسبة للكون بالاستناد الى القانون الثاني للدينامية الحرارية فسيكون من الضروري ، على هذا المجتمع ان يسبت لفترات ذات مدد متزايدة ، الا انه بالرغم من ذلك ، فان مدى الحياة المتكامل لهذا المجتمع يمكن ان يبقى غير محدد .

واذا قدر للحياة حقا ، بان تستمر بالتواجد الفعلي (ولو بصورة سبات) . للمستقبل غير المحدد ، فيمكن حينئذ اعتبار الحالة باننا غير انفسنا نتفحص كوننا ذا عمر محدد مدهشة :وبالتأكيد فان مصادفة العدد الكبير(٤-١٠) سيكون لها حد ادنى فقط ، بسبب ان الزمن الان tnow سوف لن يكون له حد اعلى وان الجانب الايسر من العلاقة (٤-١٠) محدد فقط بكون tx يجب ان تكون اكبر من 10^{40} .

ان التحديد الاضعف هذا ، ينطبق في كون يستمر بالانتشار الى مالا نهاية له . واذا كانت كثافة المادة الكونية عالية بالقدر الكافي ، فسوف تحدث حالة اعادة

الانهيار منهية بذلك كل انواع الحياة ان الحقيقة المتمثلة بـان زمننا الان tnow هـو لذلك ، ليس اكبر بكثير من tx يمكن ان يفسر ، اذا تمكن المرء من ان يوضح بان زمن الحياة الاجمالي للكون هو ليس اطول بكثير من tx . ويمكن بالفعل ان تكون هذه هي الحالة اذ اكدت التجارب الجارية حالياً على النيوترينوز بوجود كتلة سكـونية غـير صف .ة ١ انظر القسم٣ـ١)الا ان المهم ، ان نلاحظ باننا لانعلم باي سبب رئيسي لضرورة ارتباط الدورة الزمنية لاعادة انهيار الكون مع tx . واذا حدث وان ظهر بأن زمن حياة الكون هو حوالي 10 tx ~ فيجب ان يعتبر هذا الامر من قبل الصـدفة المحضة : ان الكمية السابقة ، تعتمد على معدل الانتشار الاولي للكون . ولربما سيظهر تحليل اكثر تفصيلا ، بان مجرات مستقرة ونجوما يمكن ان تتولد فقط اذا كانت P تفوق Pcrit بالمقدار الكافي بالضبط لاعطاء مدى عمر كوني قدره 10 tx ~ .

ان الدور الرئيسي لعنصر الكاربون في الحياة على الارض ، قد حفز العالم فريد هويل Fred Hoyle على توجيه الانتباه الى مصادفة غريبة اخرى للطبيعة ، ان نوى الكاربون تتركب في النجوم نتيجة التقاء آني تقريبا . لثلاث نوى من الهيليوم . ان مثل هذا الاصطدام الثلاثي ، هو بالطبع نادر نوعا ما ، وسوف يكون غير ذي شأن للغاية ، لولا تواجد خاصية عرضية لنـواة الكاربـون . ان اتحاد نـواتين من الهيليوم يشكل نواة غير مستقرة من البريليوم Be^8 ان احتمال اندماج النواة الثالثة الاخرى من الهيليوم لتكوين نواة الكاربون C 12 قبـل انحلال النـواة Be^8 يعتمد بدقة ، على الطاقة التي ترتطم بها نواة الهيليوم نواة البريليوم Be^8 المتواجدة بصورة وقتية . ان سبب ذلك يتعلق بوجود مايدعى بالرنـين النووي واذا تحـدثنا بصـورة تقريبية ، فعندما تتوافق ذبذبة الموجة الكمية المرتبطة بنواة الهيليوم القـادمة ، مـع ذبذبة الاهتزاز الداخلية للمجموعة المركبة ، فان المقطع العرضي لاصـطياد نـواة الهيليوم الثالثة يرتفع بصورة حادة جدا وبالمصادفة فان الطاقة الحرارية للمكونات

النووية في نجمة نموذجية تقع بالضبط تقريبا عند موقع الرنين في ذرة الكاربون C^{12} . ان هذه المصادفة السعيدة ، تؤمن الانتاج الفعال للكاربون داخل النجوم ، وبدون هذه المصادفة فأن الكاربون سوف ينخفض بصورة جذرية .

الا ان ذلـك هو نصف المسـألة فقط ، لأن من الضـروري ان تتمكن نواة الكاربون المكونة حديثا من البقاء رغم الفعاليات النووية التالية داخل النجمة . ان الكاربون سوف ينصب بأشتعاله لتكوين عناصر اثقل من ذلك . وبصورة خاصة فأن الاصطدام الاضافي لنواة الهيليوم He^{4} مع نواة الكاربون C^{12} سيولد الاوكسجـين O^{16} ، ولكن مـرة اخرى ، اتخـذت الطبيعـة خيارا سعيـدا . ان الرنـين في نـواة الاوكسجين يقع بصورة امينة دون الطاقة الحرارية للمكونات لذلك فأن الكاربون قد سلم من مصير الحرق نهائيا والاختفاء من الوجود مكونا الاوكسجين .

ان تفاصيل الهيكل النووي هي معقدة للغاية ، ولكن بالنتيجة ، فأن مواقع الرنين النووية تعتمد على القوى الاساسية للطبيعة ، او بصورة خاصة القوة النووية القوية والقوة الكهرومغناطيسية . ولو حدث لشدة هذه القوى ان لاتكون مختلوة بهذه الدقة المتناهية فأن الترتيبات العفوية للرنين في النوى C^{12} , O^{16} سوف لن تكون قد حدثت وان الحياة ، بالنوعيات الارضية على الاقل ، سـوف تكون اقـل احتمالا للغاية .

ونعود الان الى هذا الموضوع في النشريات الحديثة . لقد اعتبر العالم هويل Hoyle ، مصادفة تركيب الكاربون ـ الاوكسجين جديرة بـالملاحـظة لدرجـة تبدو وكأنها « عمل مبيت » . وبالنسبة الى تحديد الموضع الدقيق للرنين النووي فأنه يعلق اذا كنت راغبا في انتاج الكاربون والاوكسجين بكميات متساوية تقـريبا بـواسطة التركيب النووي النجمي فعليك تحديد هذين المستويين ، وان تحديدك لهما يجب ان يكون حيث يتضح بأن هذين المستويين يوجدان فعلا في الواقع ـ ـ ـ . ان تفسيرا

منطقيا للحقائق يوحي بأن قوة هائلة الذكاء قد تلاعبت بالفيـزياء بـالاضافـة الى الكيمياء وعلم الاحياء ، وانه ليس هناك قوى عمياء في الـطبيعة تستحق التكلم بصددها .

Weak & Strong anthropic principles .

(٥-٣) المبادىء الانثروبية الضعيفة والقوية

بالرغم من ان كـلا من ديك وهـويل Dick & Hoyle يستشهـدان بالعـلاقة الكاربونية في تحليليهما للمصادفات ، غير المحتملة ظاهريا في الطبيعة ، فان هناك اختلافاً واضحاً في مكانة الجدلين كما تم تقديمها في القسم السـابق . ففي حالـة الاعداد الكبيرة التي تفحصها ديك Dick . فـان وجودنـا كمراقبـين مكونـين من الكاربون ، تعتبر تطابق العدد الكبير 10^{40} في سياقين مختلفين . ان الحياة الانسانية قد اختارت حقبة زمنية من جميع الحقب الزمنية المتوفرة والتي هي بحكم الضرورة من رتبة الحقبة tx ، ولذلك فانها تحقق مصادفة العدد الكبير (4.10)

ومن الناحية الاخرى ، فان مثال هويل Hoyle ، بالشكل المبين اعلاه لا يفسر مصادفة الطاقات النووية ، بل انه يعلق فقط على الحظ السعيد للغاية لهذه الحالة لولم تكن الحالة كما كانت هي عليه ، فينبغي ان لانكون نحن هنا لمناقشة هذا الموضوع انها احد الامثلة لسبب اعتبارنا محظوظين بصورة استثنائية لتواجدنا في كون ذى هيكل يعتمد بدقة عالية على الثوابت الطبيعية .

ان النمط السابق من المناقشة قد دعي من قبل كارتر Carter بالمبدأ الانثروبي «الضعيف» واعلنه كما يلي : إن ما يتوقع لنا ان نرصـده ، يجب ان يكون محـددا بالظروف الضرورية لتواجدنا كراصدين« وباختصار ان الراصدين يحددون المرصود ». ولسوف يبدو بان المبدأ الضعيف لا ينطبق بالنسبة الى مثال هويل Hoyle ففي حين ان وجودنا يمكنه بوضوح ان يحدد الحقبة الزمنية « الزمن الان » tnow فليس له بالتأكيد

اي تأثير على هيكل النواة ؟

الا ان من الممكن ان نجعل مثال هويل Hoyle ، يتمثل للمبدأ الانثـروبي الضعيف اذا ابدى المرء استعداد للتفكير باحتمال كون الثوابت الاساسية مثل α و G تتغير خلال الفضاء او الزمن . وحينذاك ستكون الحالة بان الراصـدين سوف يظهرون فقط في تلك المناطق من الكون حيث تظهر بالصدفة ترتيبات الرنين النووي صحيحة بالضبط وقد اقترح هويل Hoyle بالفعل تغييرا محتملا من هذا القبيل .

ان ملاحظات مماثله تنطبق على التنافر الكوني الذي تم بحثه في القسم 4.5 .

ان الحقيقة المتمثلة بان ٨ هو صغير للغاية بسبب توافق دقيق اعجازي على مايبدو وبين Λbare و Λq ، لها اهمية بالنسبة للمخلوقات الحية بالتأكيد . فان اختلالا ضئيلا في الموائمة ، سوف يولد كونا ينهار او ينفجر على هيئة كارثة ، ويستبعد نهائيا اي احتمالات لمعرفة مثل هذا الكون . ولاول وهلة ، فان هذه الحقيقة تبدو وكأنها تؤكد فقط كيف اننا محظوظون لان نكون هنا . الا انه اذا سمح لـ Λq بان تتغير ، فحينذاك سوف يحدث الالغاء التام تقريبا بين Aq تجاه Abare ، في مناطق محددة نسبيا من الفضاء والزمن فقط ويمكن للحياة لان تتكون في تلك المناطق لذلك فليس هو مدهشاً انما نجد انفسنـا قد وضعنـا في مثل هـذه المناطق من الفضـاء من حيث $\approx$ ٨ ، وقد تم اقتراح سبب ممكن لامكانية تغير Λq خلال الفضاء من قبل مؤلف هذا الكتاب وستيفن يونوين Stephen Unwin .

ويمكن للمرء ان يبسط هذه الافكـار لجميع الامثلة الاخـرى للمصادفـات الجديرة بالملاحظة التي نوقشت في الموضوع في الفصول السابقة . ان التغييرات في α ، g سوف تولد خلطات متغيرة من الهيدروجين والهيليوم في الكون البدائي . وان التغييرات في الظروف الاولية للانفجار الكبير سوف تولد بعض المناطق في الكون المحتواة للمجرات في حين ان البعض الاخر سوف يحتوي فقط على الغيوم الغازية

المبعثرة او التجاويف السوداء . ان المناطق التي انتشرت في البداية بالمعدل الصحيح بالضبط سوف تبقى هادئة لفترة كافية تسمح معها بتكوين الحياة في حين ان مناطقا اخرى غير مأهولة سوف تنهار او تنفجر او تتحرك بدون سيطرة بدرجات كبيرة من اللاانتظام وعدم الانسجام وهكذا . ان ضعف هذه المناقشات يمكن بان هناك القليل او ليس هناك دلائل على التغييرات في كل من الظروف الاولية او الثوابت الاساسية الضرورية لتواجد مدى كامل من القيم . ان تقييدات شديدة على التغيير في الزمن يمكن ان توضع على معظم الثوابت المدرجة في الجدول رقم (١) في حين ان التغييرات في الفضاء سوف تنعكس على تصرفات المجرات البعيـدة والتي تبدو جميعـا وكأنها مشابهة بصورة ملحوظة لمجرتنا . ان التغييرات على المقاييس الاكبر جدا من نصف قطر هبل Hubble Radius فقط سوف تمر بدون ان تكتشف .

ان برنامجا بديلا من الاراء قد تم تثبيته للحالات ذات الصدف غير الاعتيادية العديدة التي لايمكن ان تفسر بواسطة المبدأ الانثروبي الضعيف . وينطوي ذلـك البرنامج على مناشدة المبدأ الانثروبي «القوي» المعرف من كارتر Carter بمـا يلي : « يجب ان يكون الكون بشكل يسمح معه بخلق مراقبين ضمنه في مرحلة ما » .

ومن الواضح الان ، ان المبدا الانثروبي القوي قد ارسي على اسس فلسفية مختلفة تماما عن الاسس للمبدأ الانثروبي الضعيف . وفي الواقع انه يمثل انحرافا جذريا عن المفهوم التقليدي للتفسير العلمي . ويدعى هذا المبدأ بجوهره بان الكون قد فصل لاجل الاستيطان البشري وان كلا من قوانين الفيزياء والظروف الاولية قد تكرمت بترتيب نفسها بالطريقة التي تؤمن التواجد اللاحق للمخلوقات الحية . وفي هذا المضمار فان المبدأ الانثروبي القوي يماثل التفسير الديني التقليدي للعالم : بأن « الله قد خلق العالم لاستيطان البشر » .

ان التأييد للمبدأ القوي يمكن ان يوجد في الفلسفة الايجابية : وبجوهرها فان

هذه الفلسفة تتطلب بان الاشياء التي يمكن ان تدرك هي التي تتمتع بوجود حقيقي فعلا . واذا تبنينا هذه الفكرة فيمكن للمرء ان يجادل بان الكون الذي لا يسمح بتواجد المراقبين هو كون بدون اي معنى ـ ان الكون الحقيقي الوحيد بالفعل هـو الكون الذي يمكن ان يدرك لذلك فان هذا الكون ينبغي عليه ان يعدل خواصه الى اي ترتيبات غير محتملة بصورة شديدة والتي قد تكون ضرورية لاجل ظهور المخلوقين الواعين .

ان العديد من العلماء قد اظهروا التأييد للمبدأ الانثروبي القوي . لقد بين العالم جوزيف سيلك Joseph Silk عندمناقشته لكيف ان العلاقة(٣-١٤) تنتجحتما في كون يتمكن من عمل المجرات ان عدم الاستقرار التجاذبي والاجزاء المتناثرة يجب ان تقود من المجموعات العملاقة الى المجرات ومن ثم الى النجوم وفي نهاية الامر الى الكواكب السيارة والى بيئة ملائمة لتطور الحياة . ان هذه الحلقة المتصلة ضرورية في اي كون مدرك وقد توفر لذلك مفتاح الحل لفهم اهمية الارقام عديمة الوحـدات الاساسية للفيـزياء الفلكيـة وعلم الكونيـات . لاحظ ان سيلك Silk يقترح بـأن الادراك هو الذي سوف يشرح لنا الارقام وليس العكس . وبصورة مماثلة ، يناقش ويلر Wheeler ما يدعوه « كوننا المشاركون فيه » وفي تلك المناقشة يقول بأن وجود مراقب في مرحلة ما في تاريخ الكون ، يعد في الحقيقة المسؤول المباشر لذلك النوع الخاص من الكون . فعلى سبيل المثال ، عند مناقشته لسبب كون الكون بهذا الكبر فأنه يكتب : وما هي فائدة كون بدون ادراك ذلك الكون ؟ وانه يوضح بأنه مالم تكن مسافة افقنا هي اكبر من او مساوية 10^9 سنة ضوئية ، فأن الكون سوف ينهار في زمن اقل من tx وبذلك يحول دون الحياة . ويختتم ويلر Wheeler عرضه بأن الكون بهذا الكبر ($\geqslant$ ١٠ ٩ سنة ضوئية) بسبب ان يمثل هذا الكون فقط ، يمكن للانسان ان يوجد .

ويعيد بارو Barrow تأكيدا المبدأ القائل بأن وجودنا هو بالفعل مسؤول بمعنى ما عن الهيكل الخاص جدا للكون حيث يكتب ان العديد من الارصادات للعالم الطبيعي برغم كونها متطلبات ملحوظة فانها ترى بهذا الضوء بانها نتائج محتمة لتواجدنا نحن .

ومن وجهة النظر الفيزيائية البحتة ، يبدو غامضا على الاقل ، ان وجودنا كمخلوقات واعية يمكن بالفعل ان يحقق الصدف المدهشة ، ومن الواضح ان اي ارتباط سببي مباشر هو غير ممكن . ان بعض الظروف الطبيعية يمكن ان تخلق الانسان الا ان من الصعب ان يعزى للانسان الفضل في خلق متطلباته البيئية . الا ان هناك مجالا واحدا في الفيزياء حيث يلعب المراقب دورا رئيسيا : نظرية الكم . ان عملية القياس في فيزياء الكم التي تخبطت بالمتناقضات لفترة طويلة ، ويبدو وكأنها تتطلب مشاركة المراقب الواعي عند مستوى اساسي . وبالرغم من ان المراقب الكمي لا يمكن ان يقال عنه بانه قد خلق كونه بالفعل بالمعنى التقليدي لكلمة الخلق فان تحليلا لنظرية القياسات الكمية تفتح الباب امام توفير تسبيب معقول ، فيزيائي بدلا من فلسفي ، للمبدأ الانثروبي القوي .

(٥-٤) نظرية تعدد الاكوان. the many-universes theory

ان استعمال الكلمات « مصادفة » « فوق العادة » Extraordinary جدير بالملاحظة في المناقشات للعلاقات الخاصة المختلفة المشروحة في هذا الكتاب تحمل معها دلالة عدم الاحتمال . ان فكرة الاحتمال تكون ذات معنى فقط اذا كان هناك مدى من البدائل ، يمكن ان نأخذ منه خيارا خاصا .

اذا ضرب لاعب الكولف الكرة وحدث ان احرز الهدف بالضربة الاولى فيجب ان يعتبر نفسه محظوظاً لان مثل هذه النتيجة هي «سابقة» Priori وغير محتملة جدا .

ان عدم الاحتمال ينبع من حقيقة ان هناك عدداً كبيراً من الاماكن الاخرى في ملعب الكولف بدلا من الهدف في منتصف الساحة الخضراء ، وان كرة تضرب بصورة عشوائية يحتمل لها ان تقع في أي من هذه الاماكن بنفس الاحتمالية . ان الاحصائيات البسيطة تشير بأن احتمالات تحقيق الهدف بضربة واحدة هي بعيدة . وبصورة بديلة يمكن للمرء ان يقول بانه بعد ان يتم تسديد عدد هائل من الضربات فان قسما ضئيلا من هذه الضربات سوف يحقق الهدف من ضربة واحدة .

والان يمكن ان نناقش باي موقع نهائي لكرة الكولف هو ايضا غير محتمل بصورة متساوية . الا ان النقطة الاساسية هي ان بقعة الهدف لها اهمية خاصة جدا (على الاقل بالنسبة للاعبي الكولف) والتي لا تتمتع بها اية بقعة عشوائية اخرى من الساحة الخضراء لذلك فان الجميع يصفقون اذا ما وصلت الكرة الى نقطة الهدف وبصورة مماثلة ، فان وجود الحياة له اهمية خاصة جدا بالنسبة لنا .

فيمكن للمرء ان يتخيل مجموعة هائلة من الاكوان المحتملة ـ او مجمع الاكوان ـ وان كل كون يختلف قليلا من الاكوان الاخرى . لذلك فسوف يكون هناك كون تكون فيه اي قيمة يمكن تصورها لكل ثابت اساسي واي قيمة يمكن تصورها للترتيبات الاولية للمادة والحركة قد حققت بدرجة محددة من الدقة . وعندئذ فان المصادفات المشهورة سوف تكتسب مكانة اكثر ثباتا نوعا ما .

ان من الصعب تحديد عدم الاحتمال لاختيار العالم الذي ندركه ، بسبب انه برغم اننا نعرف مثلا ، كيف ان نقيس الاحتمالات النسبية لظهور ، احد وجهي قطعة النقود المعدنية عندما نرميها في الهواء ، فاننا لانعرف كيف نقيس احتمالات الخيار بين الاكوان المحتملة . الا انه بالرغم من ذلك فان قبول مفهوم مجموعة العوالم يمكن المرء من ان يؤكد الحقيقة العامة بأن عالمنا هو بالفعل غير محتمل للغاية على اسس الاختيار الاول وباننا محظوظون للغاية لان نكون متواجدين عليه ، برغم عدم

امكانيتنا تقريركم نحن محظوظين بالضبط .

ان الذين يفضلون نظرة ولغة علميتين ، يمكن لهم ان يلجأوا الى موضوع نظرية الكم Quantum Theory بهيكلها الاحتمالي الذاتي ، ومن ناحية المبدأ فأن نظرية الكم يجب ان توفر قياسا احتماليا محدداً لحركات الكون الاولية المحتملة ، بحيث يمكن للمرء ان يستنبط كم هو نتاج محتمل فعلا ، الدرجة الواطئة جدا لأنعدام تباين الخواص (اللانتظام) الحالية اذا اعطينا حالة كمية Quantum State محددة الكون .

ومن المؤسف ، ان مفهوم الحالة الكمية Quantum State لمجمل الكون هي مبهمة بصورة ميؤوسة بل وهي غامضة في تفسير (ما يدعى بكوبنهاكن) التقليدي لنظرية الكم . ان المشكلة الاساسية هي ان حالة الكم يمكن ان تتكون من تراكيب العديد من العوالم البديلة المحتملة . وعند القياس فأن عالماً خاصا واحدا ـ العالم الفعلي ـ قد اختير بصورة عشوائية على مايبدو . ان احتمال قيام خلق القياسات لناتج محدد يمكن ان يستنبط الا انه على العموم فأن اي مدى من النتاجات هو الممكن .

الا ان عملية القياس يجب ان تدرس بدقة اكبر . فلاجل قياس نظام ما فيجب ان نملك جهازا للقياس والذي هو نفسه ليس جزءا من النظام . ان عملية القياس تتكون من ربط الجهاز موقتا الى النظام ، وان نسمح للنظام بأن يولد تغييرا مرصودا في الجهاز . وعندما يكون النظام متكوناً من مجمل الكون فأن فكرة قطعة جهاز قياسات خارجي ، تصبح عديمة المعنى . ان الكون هو كل شيء متواجد . ومن الناحية الاخرى ، اذا لم يبق هناك شيء لقياس حالة الكون به ، فكيف يتمكن الكون من التحول من تراكيب عدد من العوالم المحتملة الى عالم ثابت واحد ، العالم الفعلي ؟

ان هذه المعضلة قد شلت ، المفاهيم الاساسية لنظرية الكم لعشرات من

السنين وان حلا شاملا واحدا فقط سبق وان تم طرحه . ان الفكرة الاساسية هي ان نقبل بالتحقق الآني لجميع البدائل الممكنة للعوالم ، وقد تم اقتراحها قبل هيوافيرات H. Everett في عام ١٩٥٧ . ان هذا هو مايدعى بتفسير الاكوان المتعددة لنظرية الكم ويوفر هيكلا للمبدأ الانثروبي القوي .

وقبل ان نناقش العلاقة الانثروبية ، من المفيد ان نتفحص كمثال تجربة استطارة بسيطة . لنفترض ان الكترونا قد قذف بصورة مباشرة نحو بروتون ما . فأن الموجة الكمية Quantum Wave المتعلقة بالالكترون سوف تنحرف عن البروتون وتنتشر خارجا مثل امواج الصوت المترددة في جميع الاتجاهات من شيء صلب . ان الموجة توفر مقياسا لأحتمال وجود الالكترون في ذلك الموقع ، فحيثما يكون اضطراب الامواج على اشده في موقع ما ، فأن ذلك الموقع هو الاكثر احتمالا لوجود الالكترون .

ان الموجة ، تستطير الى اليسار واليمين معا ، بالرغم من ان هناك الكترونا واحدا فقط وبسبب عدم امكانية تهشمه الى اجزاء فأن الالكترون يمكن ان تستطير فقط اما شمالا او يمينا بأحتمالات محددة . ان القياسات سوف توضح ماهي الحالة . ولكن ، ينبغي لنموذج الموجة ان يتغير آنيا بعد القياس . لانه اذا وجد الالكترون على اليمين فليس هناك بعد ذلك اي احتمال على الاطلاق لوجوده على اليسار وان الموجة المتحركة يسارا يجب ان تختفي حينئذ فجأة .

ان هذا الانهيار المفاجيء للموجة هو جوهر التناقض الظاهر في القياس الكمي . لانه اذا كان الجهاز يوصف ايضا بموجة (كما يجب ان يكون عليه الحال اذا كان خاضعا الى المباديء الكمية ايضا) فحينئذ حتى اذا انهارت موجة الالكترون فان موجة الجهاز سوف لن تنهار الا اذا كان الجهاز نفسه مقاسا بجهاز اخر وهكذا دواليك . وعندما يكون مجمل الكون محتوياً ضمن هذا الشرح الكمي ، لن يبقى

هناك شيء يقوض الموجة .

وبصورة مضادة فان تفسيرات ايفرت Everett يؤكد بانه عند القياس فان الكون ينفصل الى كونين ، الاول يحتوي على الكترون متحرك يمينا والاخر يحتوي على الكترون متحرك يسارا . وان كلا من العالمين هو حقيقي بنفس الدرجة . وكلاهما يتعايشان الا انها ـ على الاقل على المستوى المتطور عيانيا ـ لايتدخل احدهما مع الاخر . ان المراقب الواعي ينفصل الى نسختين تعيش نسخة منه في كل عالم .

ويجب ان تتصور كل ذرة في مجرة بانها مشغولة بصورة مستمرة في مثل هذا النوع من فعالية الاستطارة ولذلك فهي تجزىء العالم مرة بعد الاخرى الى عدد مذهل من صور مماثلة تقريبا لنفسها . ويمكن تشبيه الكون حينذاك بشجرة ذات اغصان واغصان فرعية ، ان الاغصان المتقاربة تختلف قليلا بعضها عن البعض الاخر ، ولربما تتمايز بترتيبات عدد قليل من الذرات فقط . الا ان من بين هذه المجموعة غير المحددة من العوالم المتشابهة . سيكون هناك امثلة تصور جميع الاحتمالات للاكوان الطبيعية .

ان هذا الطاقم المنسجم من العوالم المتولدة بالكم يفترض بانها تحتوي على جميع الاحتمالات للترتيبات الاولية للمادة ، الطاقة والحركة ، ويمكن للمرء ان يمد هذه الفكرة ويفترض بان جميع الاحتمالات لقيم الثوابت الاساسية قد تم تحقيقها ايضا (بالرغم من ان ذلك لم يكن جزء من النظرية الاصلية) .

واذا قبل المرء بتفسير ايفيرت Everett لنظرية الكم ، فلن تكون هناك بعدئذ حاجة الى المبدأ الانثروبي القوي . ان المبدأ الضعيف يكفي لشرح جميع المصادفات التي نوقشت باسهاب لانه من بين المجموعة الهائلة لمختلف الاكوان المتعايشة سوف يكون هناك دوما بعض الاكوان (بيد انها نسبة صغيرة جدا) التي تظهر فيها العلاقات العددية والظروف بالصورة الصحيحة ، وفي تلك الاكوان فقط يمكن

للحياة ان تتكون وتتطور . وان الاكوان التي تتحقق فيها العلاقات العددية هي الاكوان التي يمكن رصدها . فعندئذ لن يكون مدهشا بان ندرك كونا منطويا على عدد كبير من الظروف الخاصة جدا . لاننا قد اخترناه من ضمن المجموعة بسبب تواجدنا الفعلي نحن ، بنفس الطريقة كما كنا قد اخترنا سطح الكوكب السيار من بين العدد الهائل من مجاميع الاماكن الكونية الاقل مناسبة للعيش .

واستنادا الى وجهة النظر هذه ، فان المعالم الخاصة جدا للكون لاتعتبر بعد الان غير اعتيادية ، او جديرة بالملاحظة ، بل تعتبر بانها محتمة او مقدرة . وان عدم احتمالية تحققها الواضح هو انعكاس محض لطبيعتها غير النموذجية . ان الغالبية العظمى من الاكوان لاتتمتع بالظروف الملائمة للحياة . وان الاكوان النادرة ، التي تتمتع بالظروف الملائمة مع الحياة هي الاكوان التي يمكن ان تلاحظ . ان نظرية ايفريت Everett هي ليست السياق الممكن الوحيد لاطفاء الواقعية على الوسيلة التأملية لفكرة مجموعة العوالم . لقد ناقش ويلير Wheeler مفهوم المجموعة المتعاقبة ضمن سياق النموذج الكوني المنقبض مرة اخرى . ان مثل هذا الكون على ما نتذكر ، ينتشر من حالة فردية اولية الى حجمه الاقصى ، ثم ينهار الى الانعدام التام عند خصوصية فضازمنية نهائية واذا اخذت هذه الخصوصية بصورة جدية فانها تمثل الانهيار الكامل لجميع الفيزياء المعروفة . ويستثمر ويلير Wheeler هذه الفرصة باقتراح بان نوعا ما من الكون يبقى حيا في الحقيقة المجابهة مع خصوصيته النهائية الا انه يظهر معالجا مجددا بقيم جديدة للثوابت الاساسية وطراز جديد للحركة ، ولربما قوانين جديدة للفيزياء ايضا .

لذلك فان الكون المنقبض سابقا ، يعود للحياة مرة اخرى بحيوية ، ويدخل في دورة جديدة من الانتشار والانقباض والتي سوف تتبع بدورة اخرى وهكذا دواليك الى مالا نهاية له . وفي كل دورة فان هيكل الكون سيكون مختلفا . واذا

اجريت اعادة لمعالجة بصورة عشوائية فبمحض الصدفة ستتوافق الارقام والانظمة بصورة مناسبة ، وسوف تظهر مختلف العلاقات العددية المطلوبة . ان هذه الدورات سوف تسمح بتطور علماء الكون الذين سوف يكتبون الكتب حول الـدرجة غـير الاعتيادية من التواطؤ الذي ذهبت اليـه الطبيعـة في سبيل تـرتيب امورهـا لمنفعة المخلوقات الحية .

ان العالمين باري كولينز وستيفن هوكنغ Barry Collins & Stephen Hawking

why is the universe isotropic ?

عند مناشدتهما لفكرة مجموعة العوالم قد وجها السؤال التالي : لم ان الكون منتظم ؟ . في القسم(٤-٣) تمت المجادلة بان كونا غير منتظم يحتمل ان يولد كميات هائلة من الحرارة والتي سوف تحول دون تكوين المجرات ، بسبب بذلها ضغطا اشعاعيا قويا . وبالطبع فأن مثل هذه الظروف سوف لن تفضل الحياة كما نعرفها . لقد اتجه كولينز وهوكنغ Collins & Hawking نحو هذه المسألة من زاوية اخرى . لقد اوضحا بأنه بصورة عامة يجب ان يصبح الكون غير منتظم بصورة اكثر واكثر كلما انتشر . الا انه اذا كان معدل الانتشار موائما بالضبط للقوة الجاذبية بحيث ان K = O (اي ان الحالة 4.14 قد تحققت) فأن الكون سوف يبقى منتظما ، وانهم يجادلان بأنه في كون قريب للحالة K = O فقط يمكن للمجرات ذات العمر الطويل من ان تتولد . وعندما يكون K اقل من الصفر بصورة ملموسة فأن الانتشار سيكون نشطا بدرجة لا يسمح معها بتكون الكتل التجاذبية وعندما يكون اكبر من الصفر بصورة ملموسة فأن الكون يعود الى الانهيار بسرعة نوعا ما ويستنتج كولنز وهوكنغ Collins & Hawking بأن الحياة سوف تتكون فقط في كون ذي K ≃ O اي كون يمكن له ان يبقى منتظماً لفترة طويلة .

ومن بين مجموعات الاكوان المتعايشة وجميعها تقريبا ، لا تمتلك خاصية K ≃ O ولذلك فأنها غير منتظمة بصورة كبيرة ، فأننا قد اخترنا كونا منتظما والذي يمكن ان توفـر المجرات فيه ظروفا ملائمة لوجودنا . وبالنسبة لسؤالهم لم ان الكون منتـظم لهذا الحد ؟

فأن كولينز وهوكنـغ Collins & Hawking يجيبان عـلى ذلك بـالجواب « لاننـا متواجدون » . Because we exist .

ان مفهوم مجموعة العوالم ، يمكن ان ينتقد لعدد من الاسباب ، البعض منها فلسفية والبعض فيزيائية ، وقد يبدو عديم الروعة ، وجوب استرسال الطبيعة في مثل هذا الاسراف في التضاعف . هل يمكننا حقا ان نعتقد بوجود اعداد لا نهاية لها من الاكوان مخلوقة الا انها لم ترصد مطلقا ، وانها لا تخدم اي هدف ، سوى انها تؤمن بأن في مكان ما ضمن المجموعة الهائلة من العوالم المهدورة ستكون هناك بين الحين والحين الحادثة المدركة ؟ ان تفسير المصادفات بواسطة الاستشهاد بما لا نهاية له من الاكوان عديمة الفائدة يبدو مماثلا لحمل الحقائب الاضافية الى درجـة التطرف القصوى . الا انه يجب ان نعترف بأن البدائل : كون خلق بصورة متعمدة لاجل العيش فيه او كون يعتبر كيانه الخاص للغاية معجزة محضة هي مفتوحة ايضا امام التحدي الفلسفي .

Carrying excess baggage

ان المبدأ الانثروبي المستند على مجموعة العوالم المشكلة عشوائيا ، قد انتقـد ايضا ، على اسس فيزيائية ورياضية . ان المسألة تعود في الماضي الى فكرة قديمة للعالم لوديك بولزمان Ludwig Boltzmann ، وتدعي هـذه الفكرة بـأن الدرجـة العاليـة للتنظيم الكوني ، هو نتيجة تقلب احصائي نادر مذهل تبلور من حالة اكثر احتمالا بكثير وهي حالة اللانتظام وانعدام المعالم ، وبأن السبب الوحيد لكوننا محظوظين لان نلاحظ هذا الحدث غير المحتمل للغاية هو ان وجودنا اصلا يعتمد على الظروف والتي يمكن ان تتكون فقط عن طريق ذلك التقلب الملحوظ . وان ذلك بالطبع هو اعلان سابق للمبدأ الانثروبي الضعيف .

ان التقلب الذي يشير اليه بولزمان Boltzmann هو ببساطة حالة ذات حجم كوني لنوع التقلب الذي يولد الحركة البروانيانية Brownian Motion ضمن الجسيمات

الصغيرة جدا المعلقة في سائل . واذا اخذنا بنظر الاعتبار القفزات العشوائية لجميع الذرات فأن تعاونا على نطاق واسع بين عدد كبير من الذرات سوف يتواطأ ، بعد مرور فترة طويلة يصعب تصديقها ، الى خلق نظام تلقـائي من تلك الفوضى . بصورة مشابهة الى فرد يضرب عشوائيا بدون انقطاع على البيانو ويعزف مقطوعـة لبيتهوفن بالصدفة . وان مثالا مبسطا يتعلق بصندوق من الغاز ، فاذا انتظرنا فترة كافية ، وبالصدفة المحضة ، فان جميع نوى الغاز سوف تنطلق بصورة متوافقة الى احد اطراف هذا الصندوق . وبالرغم من ان الانتظار طويل للغاية ، فأن كل شيء محتمل الحدوث في زمن لانهاية له .

ان معلما اساسيا للنظام المتحقق من خلال التقلب العشوائي هو ان هنـاك احتمالاً اكبر بصورة غالبة لكمية قليلة من النظام لان تتطور بدلا من كمية كبيرة . ان احتمال قيام الفرد الذي يضرب بأستمرار على البيانو بالتوصل الى عزف السطر الاول من موسيقى اغنية الاطفال « ثلاثة جرذان عمياء » هو اكثر بكثير من احتماله التوصل الى عزف قطعة موسيقية كاملة . وبنفس المنوال ، فان التقلب الذي يولد مجرة واحدة مثلا هو اكثر احتمالاً بصورة غالبة من التقلب الذي يولد البلايين من المجرات . الا ان مجرة واحدة هي كافية بالتأكيد لخلق المراقبين الواعين ، فلم اذن نستمر بملاحظة الانتظام كلما نظرنا بعيدا في الفضاء ؟

ان الانتقاد نفسه يمكن ان يوجه ضد المبدأ الانثروبي عند تطبيقه على مجموعة العوالم . سيكون هناك من الاكوان ذات الترتيبات المنظمة بدقة لخلق مجرة واحدة ، عدد اكبر بصورة هائلة من تلك الاكوان ذات المجرات المتعددة ، لذلك يبدو ظاهرياً على الاقل بان مراقبا نموذجيا سيجد نفسه في كون ذي مجرة واحدة هو الاكثر احتمالا بصورة قطعية ، لذلك فان الوفرة الواسعة للمجرات المتطورة في كوننا هي شيء محير .

ان هذا التحدي الذي استخدم من قبل روجر بنروس Roger Penrose ضد المبدأ الانثروبي يتجاهل اي ترابط قد يكون موجودا بين الهيكل المحلي والاجمالي . ويمكن بالفعل ان تكون هناك صلة بين تكوين المجرات والترتيبات ذات المقياس الواسع للكون .

ان صلة من هذا النوع توفر من قبل ما يدعى بمبدأ ماخ Mach Principle ، والذي يعزي مصدر قوة الاستمرار Inertia الى التفاعلات مع المجرات البعيدة . ان العالمين ديك وبيبلز Diek & Peebles عند تعليقهما بان الكون يبدو وكأنه صمم بافراط للهدف المتواضع المتمثل بقلة من الافراد الواعين ، يشيران الى ان كونا ذي مجرة واحدة يمكن ان يستبعد بواسطة مبدأ ماخ Mach .

وباستعمال فرضية مجموعة العوالم بالاشتراك مع المبدأ الانثروبي الضعيف فان من الممكن اكتشاف جدالات معقولة تحدد قيم معظم العوامل الاساسية ، والتي كما تم مناقشته في الفصل الثاني ، تحدد بصورة تقريبية نوعا ما ، هيكل العالم الطبيعي .

ان من المحتمل ان تحليلات تفصيلية اضافية يمكن ان تحدد معالم اخرى مثل مديات ابعاد الفضاء والزمن وعدد الكوارك والليبتون ، عدد القوى الاساسية وهكذا . .

وبالطبع فان هذه الجدالات هي ليست بديلة لنظرية فيزيائية مناسبة . فمن الصعب إن نرى مثلا كيف ان المبدأ الانثروبي يمكن ان يستعمل على الاطلاق لعمل تنبؤ خاضع للتجربة ، بسبب ان اية نظرية فيزيائية لا تنسجم ووجودنا نحن هي خاطئة بوضوح على اية حال . اضافة الى ذلك وبغياب المعلومات عن الحياة خارج الارض فان لدينا نقاشات عامة نوعا ما فقط حول المتطلبات الطبيعية للحياة . فلربما تتمكن الحياة من التكوين تحت مجموعة منوعة من الظروف ، اوسع بكثير من الظروف التي تم افتراضها ضرورية لحد الآن .

ومن الممكن جدا ، بان التطورات المستقبلية ، سوف توفر بعض التفسيرات المستندة على الفيـزياء بـدلا من علم الحياة لبعض المصـادفات العـددية التي تمت مناقشتها في الفصول السابقة . ان نسبة شدة القوى يمكن ان تظهر من نظرية مقبلة ، موحدة لدرجة اكبر ، تنجم عن توحيد النظرية الموحدة العظمى مع الجاذبية . وفي تلك الحالة فان العدد الغامض سيكون ممكن الاشتقاق بواسطة الرياضيات . وان اسبابا مماثلة يمكن ان تكتشف لانسجام وانتظام الكون . ان التفاعلات غير المشتبه بحدوثها لحد الآن والتي حدثت في الكون البدائي ، المفهوم قليلا ، يمكن ان تكون قد اجبرت الحركة الكونية على تصرفها المتناسق والذي يكون غير متوقع لولا ذلك .

واذا آمنا بالنجاح المستقبلي في توفير اسباب طبيعية اساسية لما يبدو بترتيبات عفوية للعالم ، فان المبدأ الانثروبي سوف يفقد قوته الشارحة ، الا انه بالرغم من ذلك فسوف لن يكون اقل لفتا للنظر بان الفيزياء الاساسية قد وجدت بانها نظمت بشكل مرض لهذا الحد للحياة . وفيما اذا تمكنت قـوانين الـطبيعة من ان تفـرض المصادفات على الكون ام لا ، فان الحقيقة المتمثلة بان هذه العلاقات هي ضرورية لاجـل تواجـدنا نحن ، هي بحق واحـدة من اكثر الاكتشـافات المـدهشة للعلم الحديث .

المصادر

الفصل الاول

قوى الطبيعة « The Forces Of Nature P.C.W. Davies » دار كمبردج للطبع ١٩٧٩ توفر مدخلا لنظرية الكم - المجالات الكمية وفيزياء الجسيمات الحديثة بمثل مستوى هذا الكتاب .

لاجل التعرف على موضوع علم الكونيات الحديث مع تركيز خاص على المراحل الاولية للكون يمكن ان يرغب القارىء بأن يجرب الثلاث دقائق الاولى The First Three Minutes لمؤلفه - (Basic Books N.Y. 1977 Steven Weinberg) او

الكون الهارب

(The Runaway Universe by Paul Davies)

الناشر J.M. Dent London 1978

Harper & Row N.Y. 1978

ان النصوص الاكثر تقدما هي :

مبادىء علم الكون والجاذبية لمؤلفه Principles Of Cosmology & Gravitation

مايكل بيرري .by Michael Berry

دار جامعة كمبردج للنشر ١٩٧٦ (Cambridge University Press 1976)

علم الكونيات الحديث Modern Cosmology

د . دبليو سكياما D.W. Sciama

دار جامعة كامبردج للنشر Cambridge University Press 1971

وان مدخلا جيدا شاملا للفيزياء الفلكية وعلم الكونيات هو

حالة الكون - جيوفيري . باث The State Of The Universe

دار كلاريندون للنشر اوكسفورد ١٩٨٠ (Geoffrey T. Bath — Clarendon Press Oxford 1980)

وبصورة خاصة فان المقالات بقلم Rees حول تكوين المجرات . ومقالات Taylor عن التركيب النووي في الانفجار الكبير داخل النجوم ومقالات Sciama عن علم الكونيات الاساسي هي ذات علاقة خاصة بالمناقشات الواردة في هذا الكتاب .

الفصل الثاني

ان هذا الفصل مبني على مقالة مراجعة جيدة للغاية « المبدأ الانثروبي وهياكل العالم الطبيعي »

The Anthropic Principle And The Structure Of The Physical World By B.J. Carr & M.J. Rees Nature 278,605 1979.

حيث توجد فيها اشارات اخرى الى هذا الموضوع .

ان موضوع « ثبات الثوابت » Constancy Of Constants قد تم تفحصه من قبل F.J. Dyson في كتابه Aspects Of Quantum Theory

A. Salam & E.P. Wigner — Gambridge University Press 1972)

انظر ايضا المناقشات في Gravitation

By C.W. Misner, K.S. Thorne Or J.A. Wheeler

Freeman, San Francisco 1973 Chapter 38

الفصل الثالث

ان التفاصيل الكاملة للخواص الدينامية الحرارية للمادة الكونية في المراحل الاولى للكون وخاصة موضوع فك ارتباط النيوترينو والتركيب النووي قد قدمتا في

Gravitation & Cosmology Principles And Applications Of the General Theory Of Relativity

الجاذبية وعلم الكون ـ المبادىء والتطبيقات للنظرية العامة للنسبية .

Steven Weinberg (Wiley, New YorK 1972)

ان المناقشة هي مقصورة نوعا ما وللحصول على شرح اكثر تفسيرا ومبدئيا يمكن للقارىء ان يستشير جزء الكتاب عن علم الكون .

Black Holes, Gravitational Waves Cosmology

M.J. Rees R. Ruffinin J.A. Wheeler

Cordorn & Breach New York 1974

ويمكن ايضا ان يستشير الكتاب
Modern Cosmology

D.W. Sciama (Combridge University Press)

ان ملاحظات Freeman Dyson عن البروتون الثنائي يمكن ان توجد في مقالته في مجلة Scientific America ٢٢٥ ـ ٢٥ (ايلول ١٩٧١) .

ان تحليل Brandon Carter للهيكل النجمي المعالج في القسم ٣.٣ قد تم اختصاره بمقالته Confrontation Of Cosmlogical Theroies With Observation

(M.S. Longair, Reidel, Dordecht 1974)

ان تحليل الهيكل المجري المعطى في القسم ٣-٤ يستند على اعمال J. Silk

انظر مجلة Nature 265 — 710 (1977)

الفصل الرابع

ان هناك حجما هائلا من الكتابات حول مصادفات العدد الكبير المشهورة . ان الاشارة الاصلية تبدو بانها تعود الى

A.S. Eddington Proc. Cam. Phi,, Soc. 2715 (3 I)

Relativity Theorty Of Protons and Electrons

(Cambridge University Press 1936)

ومقالة سلسلة P.A.M. Dirac Nature 139,323 (1937)

Proc. R. Soc 165A 199 (1938)

ان تطويرات لاحقة تشمل عمل

— P. Jordan

Schwerkraft and Wettall

Viewig & Sohn Braunschweig 1955)

— R.H. Dicke

The Theoretical Significance Of Experimental Relativity.

Gordon & Breach New York 1964

— Atomisim and Cosmology

S. Hayakawa

Prog. Theor. Phys. Supplement.

Yukawa 30 th Anniversary Issue 532 (1965)

— Large Numbers in Astrophysics and Cosmology :

B. Carter

Institute Of Theoretical astronomy.

(Cambridge Preprint 1968)

انظر ايضا

— The Large Numbers Coincidence Or Consequenence

In Black Hole, Gravitational Waves and Cosmology

M.J. Rees, R. Ruffini & J.A. Wheeler

(Gordon & Breach New York 1974)

ان استعراضا لتوحيد القوى الاساسية والدلالات لانحلال البروتون قد اعطيت من قبل

Steven Weinberg

Scientific American 244 — 52 (June 1981)

من اجل منظور محتمل للعلاقة (4.12) والصلة مع مبدأ Mach انظر

— The Unity Of the Universe

D.W. Sciama

(Anchos New York 1961)

ولمناقشة دينامية الكون فان هناك تحليلا جيدا اوليا قدم في كتاب H. Bondi الكلاسيكي

Cosmology

Cambridge University Press

Second Edition 1961)

وفي

Principles Of Cosmology and Gravitation

Michael Berry

(Cambridge University Press 1976)

وان مقالة اكثر تطورا بقليل ولكنها تحتوي على تفسير واضح لموضوع الآفاق هي

Essential Relativity

W. Rindler

(Second Edition, Springer — Verlag New York 1977)

ان هذا الكتاب يعالج ايضا موضوع الثابت الكوني ٨

— The Large Scale Structure Of the Universe

P.J.E. Peebles

(Princeton University Press 1980)

والتي تعالج ايضا تكوين المجرة وعدم الانتظام وانه شرح جيد حديث متطور .

ان التوافق الدقيق بين P و Pcrit المناقش في القسم (٤-٢) يعرف احيانا « بمشكلة التسطح » في حين ان غياب الاتصالات بين المجرات المتباعدة جدا يدعى « بمشكلة

الافق » وكلاهما قد حللتا بعمق (وقُدِم قرار محتمل) في ورقة مقدمة من

— A. Guth

Phys Rev. D 23 374 (1937)

وكانت هذه اصل ما يدعى بحوار الكون المنتشر الذي تم تطويره بتفصيل اكبر منذ ذلك الحين .

ولاستعراض ذلك انظر

J.D. Barrow & M.S. Turner

Nature 298,801 (1982)

ان هذه المواضيع قد عولجت ايضا من قبل

— R.H. Dicke & P.J.E. Peebles

The Big Bang Cosmology

Enigmas and Nostrums

In General Relativity; an Einstein Centenary Survey

Eds S.W. Hawking & W. Israel Cambridge Univrsity Press 1979.

ان تبديد الاضطراب للكون الاولي قد درس بالتفصيل في مقالة مقدمة من قبل
J.D. Barrow & R.A. Matzner

ان التفاعلات حول اصل الانثروبيا للباريون S هي متناثرة النشر

ان القسم ٤ر٤ قد اشار الى عمل M.J. Rees Nature 275 35 (1978)

وضمن سياق عدم الحفاظ على الباريون فان D.V. Nanopoulus قد درس S بروحية انثروبية في مجلة Physics Lett. 9 IB 67 (1980) . ان هـذه المقالـة تشير ايضـا الى الحسابات الاصلية التي تم فيها حساب قيمة S المقتبسة في هذا السياق .

ان ثلاثة مقالات حول موضوع الثابت الكوني وعلاقته الى تأثيرات الفراغ الكمي هي

— D.A. Kirzhnits & A.D. Linde

Ann. Phys (NY). 101 195 (1976)

— V. Canuto & J.F. Rees

Physics Lett 72.B.281 (1977)

— S. Coleman & F. Deluccia

Phys Rev. D 21 3305 (1980).

الفصل الخامس

بـالرغم من ان الكلمـات « المبدأ الانثـروبي » هي ليست جديـدة فيبـدو انها قـد استعملت اولا في السياق الحديث من قبل Brandon Carter ان مقالته

Confrontation Of Cosmological Theories With Observation

(ed. M.S. Longair, Reidel, Dordrecht 1974)

هي المقالة الاولى والتي تعلن بصراحة حالتي القوة والضعف وعلاقتهما الى التفاعلات الفيزيائية الفلكية .

ان مناقشة الموضوع الاكثر كمالا وبضمنها كمية كبيرة من الخلفية التاريخية قد اعطيت من قبل

J.D. Barrow & F.J. Teples

The Anthropic Principle

(Oxford University Press 1982)

ان التشعبات الفلسفية قد تمت دراستها في مقالة من قبل

John Leslie

Anthropic Principle

لاجل النشر في American Philosophical Quarterly

ان تفسير Robert Dicke لواحدة من صدف العدد الكبير المناقش في القسم قد ظهر في مقالة صغيرة في مجلة Nature 192,440 (1961)

ان الكثير من هذا العمل الاولي بالاضافة الى افكار حديثة قد استعرضت من قبل

B.J. Carr & M.J. Rees

Nature 278 605 (1979)

وان استعراضا اكثر شمولا للصدف الانثروبية قد اعطي من قبل

I.L. Rozental

Soviet Physics

Usp 23,256 (1980)

ان تحليل Dyson لامكانيات العيش بالنسبة للكائنات الذكية في كون منحل قد اعطي في

Rev. Mod. Phy. 51.447 (1979)

ان الاهمية الجوهرية للتوافق النووي لتركيب الكاربون في النجوم قد تمت اثارته من قبل

Fred Hoyle

Astrophys J. Supplement 1,121 (1954)

انظر ايضا

(GaLaxies, Nuclei and Quasars Harpern and Low N.Y. 1964)

ان الاقتباس في نهاية القسم (٥-٣) يشير الى مقالة غير منشورة لجامعة كارديف معدة للطبع عنوانها

The Universe Some Past and Present Reflections Fred Hoyle. لمؤلفها

ان احتمال كون ٨ يعتمد على الموقع قد تمت مناقشته من قبل مؤلف هذا الكتاب

مع Stephen Unwin في Proc. R. Soc

A 377147 (1981)

ان نموذجا آخر للكون غير المنسجم قد تمت النظرة اليه من قبل

G.F.R. Ellis

Gen. Relativ. Gravit, 9.87 (1978).

ان مفهوم John Wheeler لاعادة تكوين الكون الدوري قد شرحت في الفصل ٤ ـ ٤

من Gravitation By C.W. Minsev, K.S. Thorne & J.A. Wheeler

(Freeman. San Francisco 1973)

ان الدور الرئيسي للمراقب (ما يدعى بالكون المشترك) قد تم شرحه في سياق كمي في مقالته

Some Strangeness in the Proportion

A Centennial Symposium to Celebrate the Achievments Of Albert Einstein

(Ed. H. Woolf, Addison — Wesley, Reading Mass., 1980)

ان تفسير الاكوان المتعددة لميكانيكية الكم قد تولدت مع

H. Everett, Rev Mod Phys 29 454 (1957).

وقد تم تطويبها بصورة شاملة من قبل

B.S. Dewitt & N. Graham in

The Many — Worlds Interpretations Of Quantum Mechanics

Princeton University Press.

ان عمل S.W. Hawking , C.B. Collins حول الشرح الانثروبي للنظام الكوني توجد في Astrophys. J. 180,317 (1973)

الفهرست

رقم الايداع ٥٢٩ في المكتبة الوطنية ببغداد سنة ١٩٨٧

طبع في مطابع دار الشؤون الثقافية العامة

عالم الصدفة

هل ان عالمنا صُدفة من صدف الطبيعة ؟

يستعرض العالم التحليلي (بول ديفيس) المصادفات الغامضة الكامنة في هيكل وخواص العالم الذي نعيش فيه، ويقدم في هذا الكتاب الموجه للقاريء غير المتخصص تحليلاً عميقاً للنظرية المثيرة: بأن هيكل عالمنا الطبيعي قد خُطط ونُظَم بدقة متناهية لأظهاره بمظهره الحالي.

ان هذه الاطروحة التي تدعي بتطور العالم نتيجة الاختيارات الكونية والحياتية مجتمعه سوف تطمئن القاريء في نفس الوقت الذي قد تثير فيه الغضب والنفور بأن وجوده أصلاً في هذا العالم قد يكون مرتبطاً بالتنظيم الدقيق في قوانين الفيزياء.

وزارة الثقافة والاعلام
دار الشؤون الثقافية العامة
بغداد ١٩٨٧

طبع في مطابع دار الشؤون الثقافية العامة